



---

産業技術総合研究所 第3期中期目標期間  
事業報告書

---

国立研究開発法人 産業技術総合研究所



## 目次

I. 中期目標の期間	2
II. 国民に対して提供するサービスその他の業務の質の向上	2
1. 「課題解決型国家」の実現に向けた研究開発の重点分野	2
(1) 世界をリードする「グリーン・イノベーション」、「ライフ・イノベーション」の推進	2
(2) 他国の追従を許さない先端技術開発の推進	4
2. 地域活性化の中核としての機能強化	5
(1) 地域経済の競争力を支える最高水準の研究開発の推進	5
(2) 中小企業への技術支援・人材育成の強化	9
3. 産業や社会の「安全・安心」を支える基盤の整備	12
(1) 国家計量標準の高度化及び地質情報の戦略的整備	12
(2) 新規技術の性能及び安全性の評価機能の充実	12
(3) 研究開発成果の戦略的な国際標準化、アジアへの展開	13
4. 「知恵」と「人材」を結集した研究開発体制の構築	14
(1) 産学官が結集して行う研究開発の推進	14
(2) 戦略的分野における国際協力の推進	17
(3) 若手研究者のキャリアパス支援及び研究人材の交流推進	19
5. 研究開発成果の社会への普及	20
(1) 知的財産の重点的な取得と企業への移転	20
(2) 研究開発成果を活用したベンチャー創出支援	21
(3) 研究開発成果を活用しようとする者への出資による実用化支援	21
(4) 企業や一般国民との直接対話を通じた広報の強化	21
6. その他	23
III. 業務運営の効率化	23
1. 業務運営の抜本的効率化	23
(1) 管理費、総人件費等の削減・見直し	24
(2) 契約状況の点検・見直し	27
2. 研究活動の高度化のための取組	29
(1) 研究組織及び事業の機動的な見直し、外部からの研究評価の充実	29
(2) 研究機器や設備の効率的な整備と活用	34
3. 職員が能力を最大限発揮するための取組	35
(1) 女性や外国人を含む優秀かつ多様な人材の確保及び育成	35
(2) 職員の能力、職責及び実績の適切な評価	38
4. 国民からの信頼の確保・向上	39
(1) コンプライアンスの推進	39
(2) 安全衛生及び周辺環境への配慮	40
IV. 財務内容の改善に関する事項	41
(1) 運営費交付金及び外部資金の効果的な使用	42
(2) 共同研究等を通じた自己収入の増加	43
IV. 短期借入金の限度額	45
V. 重要な財産の譲渡・担保計画	45
VI. 剰余金の使途	45
VII. その他業務運営に関する重要事項	45
1. 施設及び設備に関する計画	45
2. 人事に関する計画	46
3. 積立金の処分に関する事項	48

《別表1》 鉱工業の科学技術 .....	49
I. グリーン・イノベーションを実現するための研究開発の推進 .....	49
1. 再生可能エネルギーの導入拡大技術の開発 .....	49
2. 省エネルギーによる低炭素化技術の開発 .....	55
3. 資源の確保と高度利用技術の開発 .....	66
4. グリーン・イノベーションの核となる材料、デバイスの開発 .....	76
5. 産業の環境負荷低減技術の開発 .....	84
6. 持続発展可能な社会に向けたエネルギー評価技術、安全性評価及び管理技術並びに環境計測及び評価技術の開発 .....	96
II. ライフ・イノベーションを実現するための研究開発の推進 .....	103
1. 先進的、総合的な創薬技術、医療技術の開発 .....	103
2. 健康な生き方を実現する技術の開発 .....	119
3. 生活安全のための技術開発 .....	128
III. 他国の追従を許さない先端的技術開発の推進 .....	131
1. 高度な情報通信社会を支えるデバイス、システム技術の開発 .....	132
2. イノベーションの核となる材料とシステムの開発 .....	139
3. 情報通信基盤を利用したサービス生産性の向上と新サービスの創出への貢献 .....	146
IV. イノベーションの実現を支える計測技術の開発、評価基盤の整備 .....	152
1. 技術革新、生産性向上及び産業の安全基盤の確立のための計測基盤技術 .....	153
2. 知的基盤としてのデータベースの構築と活用 .....	158
3. 基準認証技術の開発と標準化 .....	161
《別表2》 地質の調査(地質情報の整備による産業技術基盤、社会安全基盤の確保) .....	165
1. 国土及び周辺域の地質基盤情報の整備と利用拡大 .....	165
2. 地圏の環境と資源に係る評価技術の開発 .....	171
3. 地質災害の将来予測と評価技術の開発 .....	175
4. 地質情報の提供、普及 .....	179
5. 国際研究協力の強化、推進 .....	183
《別表3》 計量の標準(計量標準の設定・供給による産業技術基盤、社会安全基盤の確保) .....	185
1. 新たな国家計量標準の整備 .....	185
2. 国家計量標準の高度化 .....	192
3. 法定計量業務の実施と関連する工業標準化の推進 .....	198
4. 国際計量標準への貢献 .....	199
5. 計量の教習と人材の育成 .....	201
《別表4》 予算 .....	203
《別表5》 収支計画 .....	204
《別表6》 資金計画 .....	205

## 第3期中期目標期間の事業

### [中期目標]

独立行政法人産業技術総合研究所(以下、「産総研」という。)は、平成13年4月に旧工業技術院の研究所等16の機関を統合し、一つの独立行政法人として発足した。その後、平成17年4月に非公務員型独立行政法人に移行した。上記の措置の実施により、多岐にわたる分野の研究者集団の融合が進められるとともに、柔軟で機動的な組織運営や予算執行、産業界、大学との人材交流等が可能となった。

現下の産業技術を巡る状況を見れば、地球温暖化、少子高齢化といった地球規模の課題が顕在化する中で、こうした課題の解決の鍵として、戦略的なイノベーションを推進し、それにより新たな需要を創造することが重要となっている。政府は、今後10年間を見据えて新たな成長戦略を策定・実行し、我が国の強みを活かした「課題解決型国家」を実現することとしている。そのため世界をリードする「グリーン・イノベーション」、「ライフ・イノベーション」などを迅速に推進し、課題の解決とともに、アジアと連携した成長を実現していくこととしている。また、産総研はこれまで以上に機動的かつ効率的な業務運営を実現し、民間では困難な研究開発活動を一層効果的に実施することが求められている。

このような状況の下、イノベーションによる課題解決と新たな成長の実現に向けて、産総研の業務である鉱工業の科学技術に関する研究開発等の重要性は高まっており、なかでも、基礎的な研究と開発的な研究との間をつなぐ橋渡し研究の意義は一層増している。第1期中期目標期間(平成13～16年度)及び第2期中期目標期間(平成17～21年度)における実績を踏まえつつ、第3期中期目標期間においては、こうした観点から産総研が業務や組織のさらなる見直しと重点化を進め、経済と環境の両立、国民生活向上等への研究開発による貢献、新たなイノベーションシステムの構築、イノベティブな人材養成の推進、新時代の産業基盤の整備等、国際的な展開も含めた新たなイノベーションを創出していくための活動を戦略的かつ効率的に実施すること等を通じ、世界トップに立つ研究機関を目指していくことが期待される。

### [中期計画]

独立行政法人産業技術総合研究所(以下、「産総研」という。)は、平成13年4月の発足以来、旧工業技術院時代の研究所単位の研究活動を統合して、今後の産業技術シーズとなる大学等の基礎的研究の成果を民間企業が行う製品化につなぐために出口を見据え基礎から製品化に至る連続的な研究(「本格研究」)を一貫して推進し、我が国のイノベーション創出に大きく貢献してきた。また、同時に、研究所内の資源配分を旧工業技術院の枠組みにとらわれずに最適化し、社会的、政策的な研究ニーズに応じて機動的かつ柔軟に研究組織の廃止又は新設を行う等の適時、かつ、適確な見直しを行い、イノベーション創出と業務の効率化を両立させるよう努めてきた。

このような取組により、これまでに管理費を削減するなどの効率化を図る一方で、第1期、第2期中期目標期間における特許や計量標準等の目標を達成するとともに、国際的な研究開発能力の指標である論文被引用件数についても材料科学分野では世界第4位、化学分野では世界第19位と高い成果を挙げた。第3期は、近年の技術の高度化、複雑化により基礎的研究と製品化研究の間に存在する技術課題が増大し、基礎的研究の成果を製品化につなぐという産総研の機能がこれまで以上に重要とされる中、政府として実現を目指している「課題解決型国家」に貢献するため、「21世紀型課題の解決」「オープンイノベーションハブ機能の強化」を大きな柱に位置づけて、重点的に研究開発等に取り組む。

#### ①21世紀型課題の解決

##### ○経済と環境の両立、国民生活向上等への研究開発による貢献

経済と環境を両立する「グリーン・イノベーション」の推進のため、太陽光発電等の低炭素社会実現に貢献する技術等を開発するとともに、国民生活向上のための「ライフ・イノベーション」の推進のために、創薬、医療、介護を支援する技術等の開発を行う。また、産総研の優位性を活かし情報通信技術、材料、部材技術等の革新的な技術開発を行う他、地域においても、地域ニーズを踏まえた国内最高水準の研究開発を行う。

##### ○新時代の産業基盤の整備

計量標準の充実及び高度化、地質情報の整備等とともに、新規技術の性能及び安全性評価、国際標準化等により、産業や社会の「安全・安心」を支える基盤整備を行う。

## ②オープンイノベーションハブ機能の強化

### ○新たなイノベーションシステムの構築

産学官が一体となって研究開発や実用化、標準化等を推進するための「場」を産総研が提供する。産総研施設の外部利用、地域の中小企業等やアジア等との連携を含め、オープンイノベーションのハブとなるための新たなイノベーションシステムを構築する。

### ○イノベティブな人材養成の推進

我が国の産業技術の向上に資することができる人材を社会に輩出するため、ポスドク等の若手研究者の育成や中小企業等の企業研究者の受入れ等を行う。

産総研は、上記の取組を実施するにあたり、例えば「グリーン・イノベーション」分野での太陽光発電技術等や「ライフ・イノベーション」分野での生活支援ロボット等、産総研が第1期、第2期中期目標期間を通じて蓄積してきた実績を更に発展させる形で、取り組む。また、産総研が果たすべき社会における役割を強く認識し、我が国社会の一員として、また各研究拠点が設置されている地域社会の一員として、社会に開かれ、社会で活用され、社会とともに歩むことを通じて、世界をリードする研究成果等を創出することにより、人類の持続的成長に大きく貢献する。

## I. 中期目標の期間

産総研の平成22年度から始まる第3期における中期目標の期間は、5年(平成22年4月～平成27年3月)とする。

## II. 国民に対して提供するサービスその他の業務の質の向上

### 1. 「課題解決型国家」の実現に向けた研究開発の重点分野

#### (1) 世界をリードする「グリーン・イノベーション」、「ライフ・イノベーション」の推進

(戦略的な研究企画及び研究資源配分の重点化)

#### [中期目標]

・グリーン・イノベーションについて、太陽光発電、蓄電池、次世代自動車、ナノ材料、情報通信システムの低消費電力化等の技術開発を加速化する。また、第3期中期目標期間中に実用化の可能性が高い技術について、重点的に取り組む。太陽光発電等の新規技術の性能や信頼性に係る評価技術の開発を推進する。

#### [中期計画]

・グリーン・イノベーションの推進のため、太陽光発電、次世代自動車、ナノ材料、情報通信の省エネルギー化等の技術開発を加速化する。太陽光発電技術については、大幅な性能向上と低コスト化を目指し、薄膜シリコン等の太陽電池デバイス材料の効率を相対値で10%向上させるとともに、太陽光発電システム普及のための基盤となる基準セル校正技術、性能・信頼性評価技術等を開発し、それらを産業界に供給する。

#### [中期実績]

・太陽光発電システム普及のための基盤となる基準セル校正技術で、超高温黒体炉等を用いたスペクトル精度向上等により不確かさを低減した。最も難度の高い集光型太陽電池で測定再現性 1%以内を達成する等の高精度性能評価技術や発電量評価技術、故障診断技術等を開発した。それらの技術により、一次基準太陽電池供給、太陽電池評価の実施等を通じて産業界に貢献した。システム故障診断技術に関して、低圧システムの電流－電圧特性測定による結晶シリコン太陽電池モジュールの不具合探索方法を開発した。CIGS太陽電池で世界最高効率(CZTSSe では世界最高と同等)を達成した。アモルファスシリコンの光劣化抑制技術や新たな光閉じ込め構造を開発し、単接合および二接合の薄膜シリコン太陽電池で世界最高効率を達成した。有機薄膜太陽電池において、高分子/低分子ハイブリッド二接合太陽電池で、世界最高レベルの 8.2%を実現した。結晶シリコン太陽電池量産化試作施設を構築し、作製プロセス技術の高度化により変換効率 19.3%を達成した。これら全ての太陽電池で相対効率向上 10%以上を達成した。

#### [中期計画]

・次世代自動車普及の鍵となる蓄電池について、安全・低コストを兼ね備えた高エネルギー密度(単電池で250Wh/kg 以上)を設計可能な電池機能材料(正極材料、負極材料等)を開発する。また、燃料電池自動車用酸素貯蔵技術として、高い貯蔵量(5重量%)と優れた繰り返し特性を有する材料の開発技術を開発する。

#### [中期実績]

・正極材料としては、初期平均電圧 3.5V かつ初期容量 250mAh/g の Fe 含有の Li 過剰系酸化物正極材料の開発に成功した。硫黄系正極材料としては 400~700mAh/g の容量を示す有機硫黄材料や金属硫化物材料を開発した。負極材料としては、100 サイクル後でも 1500mAh/g の容量を示す長寿命で耐熱性に優れた SiO 負極を開発した。電解質についてはイオン液体単独組成による 4V 級リチウム電池用電解質の開発に世界で初めて成功した。第 3 期中に開発した正極材料・負極材料により、250Wh/kg を超えるエネルギー密度の単電池が設計可能であることを示した。

・燃料電池自動車用酸素貯蔵技術として、高い貯蔵量(5 重量%)と優れた繰り返し特性を有する材料の開発技術の開発に取り組んだ。まず、酸素吸蔵状態を「その場観察」できる構造解析技術の確立を国内外の研究機関(米国ロスアラモス研、J-PARC、SPRING-8)と連携して行った。その結果、放射光 X 線及び中性子散乱実験で酸素吸蔵過程の時間変化データの測定に成功した。また、陽電子消滅法や核磁気共鳴でも「その場」測定が可能な装置環境を開発した。高い貯蔵量(5 重量%)の材料開発では、ファイバー状の Mg で 300°C 以上の高温で目標を達成した。また、ナノメートルスケールの特殊な金属組織の薄膜試料の作製を試み、反応温度の低温化を目指した。水素化物の不安定化に成功し、200°C 程度まで反応温度を低下できる見込みを得た。V 系材料では、材料劣化の起源が欠陥の一種である転位の蓄積であることを見出した。そして、格子間原子の添加により機械的特性を変化させることで、劣化の起源である酸素吸蔵に伴う欠陥の導入を抑制することを試みた。その結果、繰り返しに伴う吸蔵量の劣化を半減することに成功し、繰り返し特性向上のための方策を見出した。

#### [中期計画]

・部材、部品の軽量化や低消費電力デバイス等への応用が可能なカーボンナノチューブについて、キログラム単位で単層カーボンナノチューブのサンプル提供が可能な 600g/日の生産規模の量産技術を開発し、キャパシタ、炭素繊維、太陽電池等へ応用する。

#### [中期実績]

・スーパーグロース法の実証プラントを立ち上げ、600g/日の生産能力を実現し、用途開発企業などに試料を 200 件以上提供し、協力企業による商業工業上市を実現した。低ダメージの CNT の乱流分散技術を開発し、分散体をフッ素ゴムと複合化することで 95W/mK の高伝熱ゴムを実現し、企業の実用化研究のために技術移転した。銅と同程度の導電率(室温で  $4.7 \times 10^5 \text{S/cm}$ )で、 $6 \times 10^8 \text{A/cm}^2$  以上の耐電流密度を有する CNT 銅複合材料を開発し、Nature Communication 誌に掲載された。人体の動きを高速で測定できる歪みセンサーを開発し、Nature Nanotechnology 誌に掲載された。eDIPS 法で合成した SWCNT の構造制御を検討し結晶性を G/D 比 200 以上に向上することにより、透過率 92%シート抵抗  $325 \Omega/\text{sq}$ (従来値:透過率 89%で  $405 \Omega/\text{sq}$ )まで、透明導電性フィルムの特性を達成した。eDIPS 法単層 CNT の分散液インクを用いた印刷製造技術により移動度  $10 \text{cm}^2/\text{Vs}$  以上とオンオフ比  $10^6$  以上の性能を有する薄膜トランジスタを実現した。

#### [中期計画]

・情報通信機器の省エネルギー(記憶素子の置き換えによりパソコンの待機電力を約 1/5 に削減)を可能とする不揮発性メモリ(電源オフでのメモリ保存)技術を開発する。

#### [中期実績]

・不揮発性メモリ・スピン RAM の省電力性と高集積を同時に実現できる垂直磁化型のトンネル磁気抵抗素子を開発し、パソコンの待機電力を 1/5 以下に削減する基盤技術を確認した。

#### [中期目標]

・ライフ・イノベーションについて、産総研の有する高度なものづくり技術を最大限に活用し、創薬、再生医療、遠隔医療システム、介護・福祉ロボット等の技術開発を推進する。また、ロボットの性能・安全性評価技術を重点的に開発する。

#### [中期計画]

・ライフ・イノベーションの推進のため、先進的、総合的な創薬支援、医療支援、遠隔医療支援、介護・福祉ロボット等の技術開発を推進する。創薬、再生医療技術については、創薬過程の高速化や再生医療基盤整備のために、iPS細胞の作製効率を10倍程度(現行1%から10%程度に)に引き上げる技術を開発する。

遠隔医療システムについては、遠隔地から指導可能な手術手技研修システムを開発し、低侵襲治療機器に即したトレーニングシステムに適用する。

介護及び福祉のための生活支援ロボットについては、製品化に不可欠な実環境下での安全の確立を目指して、ロボットの新しい安全基準を構築し、ロボットを安全に動作させる際に必要な基盤技術として15種類以上の日常生活用品を対象とした物体把持技術等を開発する。

#### [中期実績]

・再生医療技術については、ベクターの改良を重ね開発したステルス型RNAベクターにより、複数の初期化因子を同時に発現させることで、ヒト皮膚線維芽細胞からのiPS細胞の樹立効率を10%超に高めることに成功した。

遠隔医療システムについては、内視鏡下鼻内手術を対象に「手術手技遠隔研修システム」を構築した。同システムを用いて、筑波大学及び金沢医大の協力を得て遠隔指導実験を実施し、医療現場でのOJTの安全性・効率向上のみならず上級医師向けの希少症例共有に有効であるとの評価を得た。

・機能安全の国際規格に適合した、SysMLによる高信頼モデルベースのV字開発プロセスを確立した。具体的には上流モデルによる安全高信頼設計、安全分析用モデル言語、人との関係を考慮した拡張V字モデルプロセスと設計・妥当性確認、リスクアセスメント手法、機能安全認証済みのRTミドルウェアなどを開発し、その成果を介護ロボットや双腕型セル生産ロボット、自律移動電動車椅子などの種々の人共存型ロボットの開発に適用し、有効性を確認した。以上により、リスクアセスメント、システム設計、開発、評価を一貫して行うことのできる技術を確認し、その成果は学術発表のみならず事例集や専門セミナーでの依頼講演、製品ツールに組込まれるなど実用化を達成した。100種類の日常物品について、日用品を構成するパーツの接続関係から15種類の基幹物品を選定し、物品把持の観点による日用品モデルを開発した。また、開発した日用品モデルを用い、日用品の用途に応じて適切に物体把持を行う把持計画手法を開発した。これにより、日用品が多様であっても扱い方が同じならば共通の把持技術を適用できるようにした。

#### [中期目標]

・上記の技術開発においては、要素技術の開発にとどまらず、技術のシステム化及びその社会への導入のために必要な研究開発もあわせて推進する。

#### [中期計画]

・技術のシステム化としては、電力エネルギーの高効率利用のための低損失高耐圧なパワーデバイス技術等と再生可能エネルギー利用機器とを組み合わせ安定した電力を供給するためのネットワークの設計及び評価、マネジメントの技術等の開発を行う。また、早期の社会導入を目指して、数十戸規模の住宅を対象とした実証研究を行う。

#### [中期実績]

・再生可能エネルギー発電大量導入時にも安定した電力供給を実現するためのエネルギーネットワーク技術と、エネルギーを効率的に運用するためのエネルギーマネジメント技術の開発を行った。住宅の分散エネルギー源を活用することで、電力系統への再生可能エネルギー発電大量導入時に課題となる需給バランスや配電線電圧の変動を低減する制御技術を開発した。また、住宅のエネルギーマネジメント手法開発のため、気象情報を用いた太陽光発電出力予測手法を開発するとともに、住宅のエネルギー需要データを解析し、統計的手法およびボトムアップによるエネルギー需要予測手法を開発した。柱上変圧器下流の複数住宅を対象とする住宅用エネルギーネットワークの統合マネジメント実験施設を構築した。電子計算機モデルによるシミュレーションに加えて、構築した実験設備や実住宅における実証試験によってマネジメント技術の検証を行い、制御の安定性、柱上変圧器下流の住宅群(数十戸)に適用可能なマネジメント技術を確認し、20%以上の二酸化炭素排出削減が可能であることを検証した。また社会導入に向けた経済的な分析も行った。

## (2)他国の追従を許さない先端的技術開発の推進

#### [中期目標]



・産業競争力の維持、強化のために必要な情報通信技術、材料・部材技術、製造プロセス技術等に関する革新的な技術開発を行う。

[中期計画]

・デバイス材料のナノ構造の最適化により、省エネルギー型ランプの光源となる光取出し効率 80%以上の超高効率な赤色及び黄色発光ダイオードを開発する。

[中期実績]

・選択成長法による AlGaInP 微小リッジの作製技術を開発した。作製したリッジ構造ではエバネッセント光の干渉効果による発光強度の増大が観測され、本研究が基礎を置く原理が、可視光 LED において重要であるこの材料系においても成り立つことを確認した。裏面に銀ミラーを備えた AlGaInP 発光ダイオードへの本原理の適用や、リッジ構造よりもさらに大きいエバネッセント光干渉効果が得られる微錐台構造を作製する技術の開発を行い、高出力赤(黄色)LED として世界最高となる 51%(32%)および 60~70%(35~40%)の外部量子効率および光取出し効率を達成した。計画当初の目標である光取出し効率 80%には達しなかったが、共晶ボンディングの歩留まりの解決により光の内部損失の減少には成功しており、今後光取り出し効率が目標値に近づく可能性を見いだした。

[中期計画]

・マイクロ電子機械システム(MEMS)製造技術により超小型の通信機能付き電力エネルギーセンサチップを試作し、電力エネルギー制御の最適化によりクリーンルーム等の製造現場の消費エネルギーを 10%削減するシステム技術の開発を行う。

[中期実績]

・低消費電力多値化技術などにより、微弱電波通信距離を 3 倍にし得る通信 LSI と、MEMS 技術を用いたフレキシブル電力センサ、及び 3.9mm 角の世界最小レベルの通信機能付き温湿度センサチップ、スタンバイ電力  $1\mu\text{W}$  以下の超低消費電力無線センサ端末などを実現した。また、約 17,000 個のプロトタイプ無線電流センサ端末を、コンビニエンスストア 2,000 店舗に設置して、世界でも最大規模のフィールド実験環境を構築するとともに、環境データを多点で観測することで、消費電力の無駄を”機能/電力”の観点より判断し、必要な省エネルギー対策を明らかにできる電力プロファイリングシステムを開発し、社会実験によりその有用性(10%以上の省エネルギーに有効であること)を実証した。さらに、所内にある 4 インチ MEMS クリーンルームへの応用では、夏季消費電力平均値で約 63%の削減を実現した。

## 2. 地域活性化の中核としての機能強化

### (1) 地域経済の競争力を支える最高水準の研究開発の推進

[中期目標]

・地域センターは、バイオものづくり、蓄電池等地域の産業集積等を踏まえて研究分野を重点化し、国内最高水準の研究開発を推進する。

[中期計画]

・各地域センターは、北海道センターの完全密閉型遺伝子組換え工場等を利用したバイオものづくり技術や関西センターの蓄電池関連材料の評価技術等に基づくユビキタス社会のための材料技術、エネルギー技術などのように、地域の産業集積、技術的特性に基づいた地域ニーズ等を踏まえて、研究分野を重点化し、地域経済の競争力を支える最高水準の研究開発を推進する。

[中期実績]

・地域センターは、各地域の特徴を活かした分野において、地域の関係諸機関(行政や大学、公設試等)と意見交換をしながら第3期の事業展開計画(地域事業計画)を策定するとともに、その中で地域の諸機関と役割分担をしつつ地域に対して地域産業を活性化するための事業プラン(地域イノベーションプラン)を策定し、第3期期間中にその事業を推進することとした。具体的には、政策先導型として、臨海副都心センターはバイオ・IT融合、福島再生可能エネルギー研究所は再生可能エネルギー。戦略産業強化型として北海道センターはバイオものづくり、東北センターは化学ものづくり、中部センターは機能部材、関西センターは電池技術、医療技術、中国センターはバイオマス利用技術、四国センターはヘルスケア、九州センターは製造プラント診断に分類化及び重点分野化を行った。主な成果は次のとおり。

1)北海道センター: バイオものづくり技術では、平成 19 年に竣工した完全密閉型遺伝子組換え植物工場を用いて生産したイヌインターフェロン含有イチゴについて、臨床試験を進めると共に、北海道の共同研究先企業が薬事申請を行い、製品化を進めた。その結果、平成 25 年 10 月に薬事法における製造販売承認を得、平成 26 年 3 月に販売を開始した。北海道センターの重点分野が地域企業の活性化として結実したものであると共に、植物体そのものを用いた医薬品原材料生産の世界初の例である。平成 25 年からスタートした北海道独自の北海道食品機能性表示制度(北海道フード・コンプレックス国際戦略総合特区)で、北海道科学技術総合振興センター(ノーステック財団)と連携して、産総研技術である核内受容体アッセイにより機能性評価の技術で貢献し、北海道内企業に提供した。その結果、機能性タマネギの新品種は、ヒト介入試験を経て大手商社より販売されることとなった。

2)東北センター: VOC 排出量第 1 位(30%以上)を占める塗装業界に有機溶媒塗装に替わる CO<sub>2</sub> 塗装技術を宮城県中小企業、宮城県産業技術総合センターと共同開発し、VOC を 1/3 に、乾燥エネルギーを 1/2 に削減できることを示した。応用先として携帯電話のボタンから始まり、自動車部品に展開、さらに自動車や建設機械のボディへの大面積塗装の研究開発を大手企業、宮城県中小企業と共に実施した。また、ガスケットへの焼き付き防止粘土コーティングでは約 1 億円の売上げに結びついており、粘土膜技術により、水蒸気バリア用粘土(福島県企業)、不燃透明材(宮城県)、玉虫塗ハードコート(宮城県)、放熱伝熱材料(兵庫県)、防曇塗料(東京都)、電気絶縁材(兵庫県・大阪府)、エンジン用ガスケット(大阪府)の製品化にも成功した。

3)臨海副都心センター: 第 3 期の課題であるバイオ・IT 融合研究を推進した。特に、ライフサイエンス分野において、目的基礎研究段階から「創薬促進」を目指した製品化の段階に向けて着実に進展した。特に「バイオテクノロジー作業ロボット開発」においては、企業との共同研究により、高精度動作の双腕ロボット「まほろシステム」の開発に成功し、大学、国内大手製薬会社及び公的研究機関に合計 7 台導入された。この成果により内閣府の平成 26 年度産学官連携功労者賞を受賞した。「ゲノム情報に関わる独自の技術を用いた創薬促進」においては、次世代シーケンサデータを世界最高の精度で出すことが可能なソフトウェアを開発し、公開した。「創薬促進イノベーションハブ形成」を継続して行い、連携相手を増やすことにより創薬に関する最高水準の研究実施とその普及に貢献した。9 社、14 大学、6 研究所等と連携を進め、治験に至る薬効を高める手法を共同開発した。

4)中部センター: 次世代自動車関連研究などで材料メーカー等と連携を進め、4 つの技術研究組合「ファインセラミックス技術研究組合」、「高効率モーター用磁性材料技術研究組合」、「革新的新構造材料技術研究組合」と「未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合」を中部センターで実施するに至った。「炭素繊維強化プラスチック(CFRP)」について、名古屋大学ナショナルコンポジットセンター(NCC)が国から受託する炭素繊維複合材料開発プロジェクトより再委託を受け、NCC の試料について材料評価を実施した。また、CFRP 加工に向けて開発した WC-FeAl 超硬工具の性能評価に中部地区の公設試 7 所によるラウンドロビン試験を実施し普及を図った。ペアガラスを必要としないガスクロミック調光ミラーと市販の LPG カセットボンベを使ったハンディ燃料電池システムの試作に成功し、地域企業との共同研究に繋がった。

5)関西センター: 蓄電池関係では、世界トップレベルの研究成果を出すと共に、RISING 事業、技術研究組合を通じて、主要な国内電池メーカー・材料メーカーと共に蓄電池拠点を確立した。その中で、リチウムイオン電池用の耐熱性バインダーや高容量水素吸蔵合金による新型ニッケル水素電池の製品化を実現した。バイオ医薬関係では、バイオ医薬産業育成を目指して、北海道センター、つくばセンターと連携し、核酸安定化技術を開発すると共に、関西地区の製薬メーカーに大量製造技術を移転した。関西センターが運営する分子複合医薬研究会をきっかけとし、経産省地域イノベーション創出実証研究補助事業、NEDO イノベーション実用化ベンチャー支援事業でのプロジェクト化に結びついた。組込システム関連では、クラスターコンピュータ(さつき)を用いた検証研究、組込みシステム産業振興機構との連携活動を通して、技術移転(情報開示)2 件、組込みソフトウェア開発の品質向上等を目的とする共同研究 19 件、技術の標準化(OMG) 1 件(進行中)の実績を挙げた。

6)中国センター: 木質系バイオマスから直接的に幅 20nm 程度のセルロースナノファイバーを製造できる基盤技術として「水熱メカノケミカル処理技術」を開発し、連携企業においてナノファイバーを 90%以上の収率で製造できる微粉碎装置の開発に繋がった。企業において製造されたナノファイバーは多数の企業へ提供され、実質的なナノファイバー製造技術が確立された。ナノファイバーの複合化技術では、基盤技術としてマスターバッチ法の有効性を実証し、連携企業においてナノファイバー複合化製品を実際の成形設備を用いて数千個の単位で製造するなど、ナノファイバー複合化材料の製造技術を確立した。さらに、セルロースナノファイバーや複合材料の物性評価技術を確立した。共同研究・研究協力を通じて、これらの技術を企業や大学等の研究

機関等におけるナノファイバー製造・複合化技術の高度化や実際の樹脂系・ゴム系複合材料開発へ発展させ、共同特許出願に繋がった。さらに、これらの技術を基盤としてナノファイバー複合材料の製品を企業において試作した。また、ナノファイバー製造工程で得られる高規格木粉の自動車用部材への応用に関して共同研究を行い、自動車用部品として実用化に繋がった。

7)四国センター: マラリア迅速診断用細胞チップを開発し、日本企業と共同で診断装置の製品化を実施した。また、アフリカの医療機関と日本企業と共同で実証試験を実施し、普及の鍵となるWHOマラリアレポート掲載に必要な500件のデータのうち約100件を蓄積した。糖尿病の耐糖能およびインスリン抵抗性リスクを健康診断時でも判定できる独自の脂質酸化ストレスマーカーおよびレプチン、アディポネクチン等のバイオマーカー群を見出した。社会での認知を深めるべく、大学病院、市中病院と検証試験を実施し、十分な精度で判別できることを示した。地元企業との連携では、産総研の遺伝子組換え酵母技術を活用した共同研究により、「廃棄うどん」を原料としたバイオエタノール生産技術を開発し事業化に繋がった。また、食品の機能性評価法として、生物発光酵素の遺伝子を導入した細胞を用いる方法を開発し、公設試に技術移転して評価結果を地元企業に通知し、食品の高付加価値化に貢献した。

8)九州センター: 半導体関連マイスター型連携課題では、連携企業との共同研究により、LSI生産過程で生じる潜傷の検出技術を装置化し、企業の量産現場に導入してインライン全数検査を実現した。太陽電池モジュール開発・評価の研究では、長期屋外曝露モジュールと屋内加速試験後のモジュールの対比により、高温高湿(温度85°C湿度85%)試験4000時間が屋外曝露30年に相当することを明らかにした。これにより得られたモジュール設計指針に基づいて試作したモジュールが、現行の認証試験の15倍も厳しい試験後も劣化を呈さないことを実証した。平成25年度に実施した地域企業との共同研究により、肥育牛脂肪交雑の自動判定を行う実用モデルを完成し、当該企業が国内大手企業へOEM供給を開始した。平成23年度までに構築した各種水素材料に関するデータベースを安全性確保のための基本データとして(平成26年7月までに)産業界へ750件提供し、高圧水素規制の見直し作業に活用するとともに、国際標準への日本提案の科学的根拠として活用して国内自動車産業界の標準化対応に貢献するなど、安心・安全と経済性が両立する水素社会の実現に向けた取り組みに貢献した。窒化アルミニウムへの第3元素添加による圧電特性の改善に成功し、携帯端末機器用の次世代電子部品材料として技術移転を行った。

#### [中期目標]

・地域センターは、各地域で重点化した分野において、企業の研究人材を積極的に受け入れ、共同研究を効率的に推進する。

#### [中期計画]

・各地域センターは、各地域の特徴を活かした分野において、大学、公設試験研究機関等と連携して、企業の研究人材を積極的に受け入れ、最先端設備の供用やノウハウを活かした共同研究等を実施し、国際水準の研究開発成果を地域産業へ橋渡しすることにより、地域の活性化に貢献する。

#### [中期実績]

・産学官連携ネットワークについて、これまで構築したネットワークをさらに拡充した。また、地域センター全体で技術相談6989件、共同研究・受託研究5635件、技術研修2249件により、多くの研究人材を受け入れ、国際水準の研究開発成果を地域産業へ橋渡した。

各地域センターにおける主な成果は次のとおり。

1)北海道センター: 大学や専門学校からの人材受け入れを積極的に行い、大学から188人、専門学校から41人を受け入れた。特に、バイオ技術者育成事業として北海道ハイテク専門学校と提携し、バイオ系専門職を目指す学生を毎年5名程度受け入れた。本事業により、専門学校側は優秀な学生を研究現場に派遣するという特色を打ち出すことができ、北海道センターは優秀な学生の受け入れで研究室が活性化されるというWIN-WINの関係を構築した。さらに、北海道大学と包括協定を提携し、連携大学院を4講座開催した(うち2講座は、臨海センターおよび中部センターの研究員が客員教員となっている)。また、北海道における産学官連携の基盤であるR&Bパーク大通サテライト(HiNT)の事務局を担い、北海道の産学官連携の促進に強く関与した。平成25年度には北海道センター運営懇話会を設立し、地域のステークホルダーの意見聴取を行い、北海道センターの運営に反映させた。

2)東北センター: 高圧CO<sub>2</sub>によるVOC代替技術や粘土膜技術の橋渡しが多く、東北センターの2枚看板技術へと成長した。これらはそれぞれGIC、Clayteamという2つのコンソーシアム(100社以上)がオープンイノベーションハブ機能を果たし、産総研との共同研究のみではなく、その場を活用した産・産連携にも結びつい

た。東北大学、東北学院大学、日本大学、岩手大学などから、延べ 79 名の技術研修生を受け入れ、超臨界流体、マイクロ波、イオン液体、ゼオライトを活用した技術等東北センターのコア技術に関わる人材育成に貢献した。関西センター主催の組込み適塾について TV 会議システムを介して東北地域企業へ講義を行い、3 年間延べ 236 名の参加があった。

3)臨海副都心センター:平成 23 年度から関東経済産業局の東京区部・神奈川臨海部広域基本計画と連携して、ライフ・イノベーション産業と文化産業育成に貢献した。特に、デザインに関わる文化産業育成のために、ユーザーの声を反映したデザインと機能性を持った物作りのための研究会を立ち上げ、子供連れでの外出時用品 2 点を開発し、経済産業省の平成 25 年度第 8 回キッズデザイン賞を受賞した。さらに、「子どもの傷害予防システム」研究開発を実施し、企業及び社会に貢献した。子供の傷害事故において、事故データ収集医療機関 80 から 3 万件のデータが蓄積され、大きな連携体制を構築した。また、「足入れの良い革靴研究」を実施し、下町の皮革産業振興に貢献した。足形状の三次元計測機を開発し、地域企業に普及させ、平成 24 年度から日本皮革産業連合会等からの委託を受け、店舗での実証販売を行い売り上げ増加に貢献した。

4)中部センター:名古屋大学や名古屋工業大学との包括協定に基づき、マッチングファンド型の FS 共同研究を毎年数件程度実施し、外部研究資金の獲得につなげた。名古屋大学・グリーンモビリティ連携研究センターに 3 名の客員教授を派遣して次世代産業の育成を推進するとともに、クロスアポイントメント制度を利用し、1 名の派遣を行った。また、産総研コンソーシアム「名古屋工業技術協会」により研究会・講演会を年 4 回、見学会を年 1 回開催し、産学官ネットワークの活動を積極的に推進した。さらに、産総研シーズの北陸地域での展開を目指して、北陸産業活性化センターとの共催で技術普及講演会を開催し、ネットワークの強化を図った。二つの産総研コンソーシアム(センサに関する材料、デバイスなどの情報収集を図る「センシング技術コンソーシアム」及び省エネ建材への新材料の適用を図る「建築物低炭素化材料評価システム技術コンソーシアム」)を設立し、関連業界のニーズの吸い上げと産総研が持つシーズとのマッチングを図る体制を強化した。名古屋大学、名古屋工業大学との包括連携協定により育成してきた研究シーズを地域主要企業で構成される産総研コンソーシアム「名古屋工業技術協会」の支援事業とするスキームを創設した。

5)関西センター:フラウンホーファー研究機構との共同研究においては、関西センター内にラボを設置し(平成 26 年度)、高分子アクチュエーターデバイス開発体制を強化した。また、企業との共同研究を通して、大型クリーンルームを必要としない CPC 代替アイソレータ等の技術移転を果たした。大型蓄電池システムの安全性評価・認証体制の構築においては、NITE 職員の技術研修を受け入れ、蓄電池分野における NITE の技術ポテンシャル向上に貢献した。組込みシステム産業振興機構や大阪大学と連携して高度な組込みシステム技術者を養成する「組込み適塾」を毎年実施し、企業からのべ 313 名の参加があった。平成 24 年度からは、東北地域に遠隔講義を開始した。大学連携強化の一環として、第 3 期には関西センターが窓口となり、京都大学、大阪大学、大阪府立大学、奈良県立医科大学と包括連携協定を締結した。公設試に対しては、関西センターが先駆的に研究支援アドバイザー制度を導入した。

6)中国センター:産総研と中国地域に拠点をもつ企業とのネットワークを強化するため、平成 24 年 1 月に「産総研中国センター友の会(産友会)」を立ち上げ、企業訪問等により加入を促進し、会員企業(175 社/H27.1.19 現在)に対し、メルマガ(月刊)を発行して産総研の技術シーズや公募情報等を提供するとともに、企業の技術課題解決や中小企業スタートアップ支援事業の立上げ等への展開を図った。特に、産総研戦略予算に採択された「中小企業のためのランダムピックアップロボットシステムの開発」は 24 時間 365 日無人稼働の生産ラインを目指し、平成 25 年度に広島県立総合技術研究所と共同研究契約を、また平成 26 年度に「ひろしま生産技術の会」の中核企業 4 社と資金提供型の FS 連携契約を結んで、対象物計測・検出技術、把持・動作計画技術等の開発を進めつつ、広島県立総合技術研究所の研究員や企業の技術者の人材育成に貢献した。また、これらのネットワークを活用して「ロボット活用型市場化適用技術開発プロジェクト」への提案に向けたコーディネート活動を進めた。

7)四国センター:食品分析フォーラム(全国 20 公設試を含む 29 機関が参画)において、100 品目の分析法をマニュアル化して公開し、食品企業 60 社に機能性成分分析データを提供した。6 大学との研究プラットフォームでは、「四国・住みたいまちに生きる」WG を開催、「食と健康」に係る研究シーズ情報の継続提供を実施した。更に国立 5 大学で構成する四国産官学連携イノベーション共同推進機構(SICO)との連携について協議を開始した。伊予銀行との相互協力協定に基づき「ものづくり相談会」を実施し、共同研究先候補企業 1 社を選定した。四国地域イノベーション創出協議会等と連携して四国の企業を支援し、サポイン事業等 8 件の採択につなげた。香川大学等からの技術研修生、企業との共同研究による受け入れなど、技術人材育成に貢献した。また、公設試との連携強化のため、四国四県の産学官又は企画相当の職員を研究支援アドバイザー

(外来研究員)に招聘した。一般公開では高等専門学校、スーパーサイエンスハイスクール指定校などによるポスター発表、科学体験コーナーの特別出展を実施したほか、研究者からの助言などの意見交換を行った。

8)九州センター:平成24年5月に協定を締結した佐賀県と共同研究を実施し、IEC規格に定める認証試験よりも厳しい試験を実施することにより、認証試験に合格した市販の太陽電池モジュールにおいても信頼性に差異があることを明らかにした。半導体試験装置メーカーとの共同研究により、既存のプラズマエッチング装置にも後付けで取り付けが容易な高精度プラズマインピーダンス計測装置の開発・販売を実現した。マイスター型連携の取り組みにより開発した金めっき外観検査方法を、JEITA(電子情報技術産業協会)、JIEP(エレクトロニクス実装学会)等と連携して、IEC TC91/WG10 会議においてTS(技術仕様書)として提案した。工業高等専門学校から受け入れたインターン学生に、CIGS 太陽電池の劣化現象解明ならびに信頼性向上に結びつく研究成果を挙げさせるとともに、評価の高い国際会議で発表させるなど、若手人材の育成に貢献した。産総研コンソ「計測・診断システム研究協議会」内に「ミニマル 3DIC ファブ開発研究会」を設置(平成23年9月)し、オール九州とつくばとの地域間連携により、ウェハレベルの積層による3DIC生産システムおよび半導体後工程・パッケージング装置開発に取り組んだ。これにより、METI「戦略的基盤技術高度化支援事業」を6件実施した。

## (2) 中小企業への技術支援・人材育成の強化

### [中期目標]

・中小企業が行う研究開発から生まれた製品の実証試験・性能評価等を支援し、その事業化を促進する。そのため、産総研の設備等の供用、公設試験研究機関等との連携等を積極的に行う。

### [中期計画]

・各地域センターは、公設試験研究機関等と連携し、中小企業との共同研究等に加えて、最先端設備の供用やノウハウ等を活かした実証試験・性能評価等による中小企業の製品への信頼性の付与等の技術支援、技術開発情報の提供等を行い、中小企業の技術シーズの実用化を推進する。

### [中期実績]

・地元中小企業等の技術的課題の解決を積極的に支援するため、28の公設試験研究機関等の62名の研究者・技術者を産総研に招へいし、産総研の研究者と共に最先端設備、ノウハウ等を活かした実証試験や性能評価等の研究開発を実施した(地域産業活性化支援事業)。本事業により、地元中小企業の技術シーズの製品化(「電子テキスタイル製造技術を用いたLEDスポーツウェア」、「ヒートアイランド用セラミック材」)や、本格的な研究開発への発展(エレクトロスプレー反応場を利用した繊維・紙加工技術の開発他)等を支援した。

・外部に開かれた議論の場として本格研究ワークショップを実施し、地域の行政や産業界に対して技術開発情報等を発信し、地域企業等の活性化のための取組を促進した。また、各地域センターにおいても技術セミナー等を開催し、産業界との交流の場を実現した。主な成果は次のとおり。

1)北海道センター:平成24年度より北海道センター講演会を開催し、3年間で12回(参加者総計約200名)開催し、地域の公設試や中小企業へ有用な情報提供を行った。また、本格研究ワークショップや高専との共催事業において地域の研究機関・中小企業等のさまざまなニーズの把握および産総研シーズの発信を行った。その他、ビジネス EXPO などの地域の技術シーズを紹介する場を積極的に活用して、北海道センターおよび地域において興味があると思われる産総研のシーズ紹介を積極的に行った。つくばで開催された産総研オープンラボにおいては、本州企業と北海道センターの研究のマッチングをサポートし、共同研究につなげた。特に、北海道釧路市の企業の技術シーズ(シャーベット氷)については、産総研つくば研究者の協力を得て技術開発を促進すると共に、平成26年度に北海道釧路市と長崎県長崎市で開催した北海道センター講演会を通じて北海道内外での普及活動もサポートした。

2)東北センター:東北サテライトを拠点に「産総研・新技術セミナー」をほぼ毎月開催し延べ859名の参加があった。その結果、外部研究資金(サポイン、JST)の共同提案3件が採択された。産技連 東北航空宇宙産業研究会、プラスチック加工技術研究会、東北再生可能エネルギー研究会でセミナー、見学会を開催し約1000名の参加があった。コーディネータ IC のプレゼンス向上も兼ねて、複数の IC による多数の経営層が集まる工業会向けのセミナー「広域コラボ47」事業を開始し、つくば、中部、東北の IC3 名が青森県工業会員20名に技術紹介を行った。「日本が誇るマテリアルの世界 材料フェスタ in 仙台」では産総研初の試みとして高校生を中心とした若い学生向けに材料の重要性・将来性をアピールし、学生968名を含む2640名の参加を得た。

3)臨海副都心センター:平成24年度に都立産業技術研究センター(都産技研)の臨海本部が完成したのに伴い、都産技研における各種講演会等に協力し、特に中小企業の出席者に対して技術成果を発信し、6回の会合で延べ約3600名の出席者に対して講演等を行った。また、秋田県のEVバス事業では、バスによる事業化検討のために運行データ取得等で貢献すると共に、2回の講演会で延べ約90名に対して講演を行った。平成25年度に、平成32年の東京オリンピック・パラリンピック開催が決まり、臨海地区に多くの競技施設ができることから、臨海地区で産学官連携を通じたイノベーション創出による貢献を目指して、平成25年度末から臨海地域産学官連携フォーラムを都立産技研との共催で立ち上げた。平成26年度末までに計4回フォーラムを開催し、中小企業を含む延べ180名の参加者を得た。さらに、「創薬」と「ヘルスケア」に関する産総研の成果のマーケティングと新ビジネスモデル創出のために限定企業を招待してテクノブリッジフェアを開催し、今後の連携に繋げた。

4)中部センター:産技連東海北陸地域部会傘下で、二つの研究会(炭素繊維複合材料機械加工技術研究会とシンクロトン光利用研究会)を組織し、CFRP共通試験片を用いたラウンドロビン試験やメッキ膜の分析を実施し、公設試相互の連携促進とポテンシャルの向上に寄与した。地域産業活性化支援事業により、毎年10公設試から十数名の研究者を産総研に受け入れ、地元企業等の技術的課題の解決を積極的に支援するとともに、産総研が保有する先端技術を用いて技術移転と中小企業による技術シーズの実用化を支援した。平成25年度から8月上旬にVIP週間と称して、地域企業や業界団体の経営層あるいは大学学長クラスに案内を出し、延べ12機関(うち企業10社、見学者延べ28名)の個別見学会を実施するとともに、役員層と意見交換を行った。中部センター研究発表会については、研究室の見学(オープンラボ)とともに、毎年6月に実施し、毎年300名程度の参加者を得た。アンケートの結果により研究発表会よりもオープンラボに対する期待が多かったことから、平成26年度はオープンラボの時間枠を広げて実施し、講演会に331名、オープンラボに152名の参加を得た。その他、名古屋国際見本市委員会主催の「次世代ものづくり基盤技術産業展」などで積極的に成果発信を行った。

5)関西センター:公設試に集まる中小企業のニーズ把握、公設試支援を通じた中小企業の間接的支援を図り、効率的な地域中小企業支援を実現するため、産総研の地域連携研究支援アドバイザー制度を立ち上げた。具体的な活動として、公設試からの依頼により「二次電池評価技術基礎講座」へ講師を派遣した。また、公設試からの要望により、つくばでの技術研修をコーディネートした。池田泉州銀行主催のビジネス・エンカレッジ・フェア2014等の展示会に出展し、地域企業との接点を増やす機会を設けた。19回(第1回~第19回)開催した分子複合医薬研究会に延べ1711名の参加があり、核酸医薬品開発に関わる企業、大学、公的研究機関との情報共有と連携促進に貢献した。さらに、UBIQENフォーラム、日刊工業新聞社との共催シンポジウム、各種研究会等を開催し、成果の情報発信をおこなった。これらの活動の成果として、7件のサポインを実施した。

6)中国センター:産技連中国地域部会傘下に炭素繊維複合材料研究会を組織し、中国地域の公設試と産総研が協力し、地域企業の炭素繊維複合材料の実用化に向けて活動した。また、環境発電研究会を組織し、中国5県の公設試と産総研が地域企業における環境発電関連シーズ等の発掘と地域ニーズとのマッチングを図ることを目標に活動した。地域産業活性化支援事業により、公設試の研究者を産総研に受け入れ、地元企業等の技術的課題の解決を積極的に支援するとともに、産総研が保有する先端技術を用いて技術移転と中小企業による技術シーズの実用化を支援した。地域企業のニーズに対応すべく、公設試と連携し産総研の研究シーズと企業のニーズとのマッチングの場として「産総研技術セミナー」を開催した。また、平成25年度から、オール産総研の研究シーズと中国地域の研究開発型企業とのマッチングを目指す「産総研中国センター技術交流サロン」を開催した。平成23~25年度において、産総研オープンラボへのツアー企画として、中国地域の企業、大学、公設試等へ「地域ニーズに応じたテーマ」を設定しツアー企画を開催した。

7)四国センター:公設試と連携し、地域企業のニーズに応じたマッチングイベントとして「新技術セミナー(全産総研の新技術の紹介)」、四国センターが事務局を務める四国工業研究会内の次世代バイオナノ研究会主催のシンポジウムを開催した。また、四国経済産業局等と連携してヘルスケア・イノベーション・フォーラムを運営し、四国内外の企業に向けて研究発表会を開催するなど、健康産業への企業参入を促進する活動を行った。一般公開では、高等専門学校、スーパーサイエンスハイスクール指定校などによるポスター発表、科学体験コーナーの特別出展を実施したほか、研究者からの助言など意見交換を行った。更に、四国地域内の産業支援機関に所属する産学官連携担当者(コーディネータ)を対象に研究者との意見交換、研究室視察を実施し、他機関のコーディネータを介して地域企業に技術シーズを提供する方法を講じた。

8)九州センター:平成23年度より鳥栖市において毎年、九州経済産業局、九州・沖縄各県の公設試など共催

計 17 機関、後援 5 機関で「九州・沖縄産業技術オープンデー」を開催し、毎回 375～400 名が参加した。産総研および公設試の最新の技術情報（各種講演会・セミナー、各機関のポスター展示、九州センターのラボツアー等）提供や連携事例紹介（合同成果発表会）を行った。講演会およびポスター展示は約 7 割、ラボツアーは約 9 割が「大変良かった」または「良かった」として継続を希望するアンケート回答を得、共催・後援機関からも情報交換・人的交流を深める良い機会として評価され、地域の産学官関係者への産総研および公設試の最新技術情報の提供と情報交換・交流の場としての役割を果たした。産総研コンソーシアム「計測・診断システム研究協議会」では傘下の 5 研究会が講演会を毎年、合計 12～15 回開催したほか、総会講演会（毎年 1 回）、出前シンポジウム（年 1～2 回）を開催し、企業等から毎年延べ 600～800 名が参加した。

#### [中期目標]

- ・中小企業との共同研究、技術相談等の件数を増大させる。

#### [中期計画]

- ・産総研と公設試験研究機関等で構成する産業技術連携推進会議等を活用して、地域企業ニーズに基づく中小企業、公設試験研究機関及び産総研の新たな共同研究の形成や、研究成果移転や機器の相互利用促進のための研究会の設置等により中小企業技術支援体制の充実を図る。

#### [中期実績]

- ・プロジェクトの共同提案へ向けた取組として、産業技術連携推進会議において「研究連携支援事業」を 20 課題実施し、地域経済の活性化に貢献した。
- ・公設試験研究機関の技術レベルの向上に向けた研究会・講演会等（技術部会において 412 回開催）を実施した。また、「技術向上支援事業」を 9 課題実施し、持ち回り計測や依頼試験等の計測値について、公設試間の連携を推進する事で、中小企業技術支援体制を充実させた。

#### [中期目標]

- ・共同研究を通じて、中小企業の研究者を積極的に受け入れる。また、技術研修等を通じ、先端的な技術開発等に対応できる中小企業の人材の育成を推進する。

#### [中期計画]

- ・共同研究や技術研修等の活動を通じて、地域の産業界の研究人材を受け入れ、基盤的な研究活動を共同で実施し、産業化への橋渡し研究に活躍できる人材育成を行う。

#### [中期実績]

- ・各地域センターにおいて経済産業局、公設試験研究機関、商工会議所等とも連携して、技術シーズ発表会や講演会、地域の技術センターにおける出前シンポジウム等を開催し、人材育成を行った。また、包括協定を締結している国立高専機構と連携した地域企業の支援を実施した。さらに、中小企業との共同研究等で地域センター総計 738 名の研究人材を受け入れ、人材育成を行った。

#### [中期計画]

- ・産総研が地域におけるハブとなり、地域を巻き込んだ産学官連携の中核となって研究開発を推進することにより、第 3 期中期目標期間中に 3,000 件以上の中小企業との共同研究等を実施するとともに、10,000 件以上の技術相談を実施する。

#### [中期実績]

- ・第 3 期中に中小企業との共同研究を 3,139 件、技術相談を 10,392 件実施し、中期目標（3,000 件以上の中小企業との共同研究等、10,000 件以上の技術相談を実施）を達成した。
- ・中小企業との本格的な共同研究を推進するために、産総研とともに公的研究資金等への提案を支援する「中小企業共同研究スタートアップ事業」等を平成 22 年度から合計 134 課題実施し、サポイン等公的資金を 49 件獲得した。これも含め公的資金 142 件を中小企業と共同で獲得した。
- ・被災地復興を目的とした JST 復興促進プログラム等において、平成 24～26 年度に産総研が参画した案件 19 件が採択され、被災地企業の支援に貢献した。
- ・平成 25 年度より復興支援事業として被災三県（福島県、宮城県、岩手県）に所在する企業を対象に、企業シーズを技術的に支援する「被災地企業のシーズ支援プログラム」により、平成 26 年度までの 2 年間に 37 件の共同研究を実施した。
- ・「中小企業グローバルトップ性能製品の評価手法の開発」事業を平成 24 年度から実施し、平成 24 年度 3

課題、平成 25 年度 3 課題、平成 26 年度 2 課題、合計 8 課題を採択した。本事業により、製品の性能評価手法を確立し、特許 7 件(内 3 件は国際特許)を出願する等、グローバルな事業化の促進を図った。

### 3. 産業や社会の「安全・安心」を支える基盤の整備

#### (1) 国家計量標準の高度化及び地質情報の戦略的整備

##### [中期目標]

・ナノスケール等の高度な計測ニーズや新素材の安全性評価等に応えるため、計量標準の高度化、新規標準物質の提供等を行う。

##### [中期計画]

・我が国の技術革新や先端産業の国際競争力を支え、また新素材、新製品の安全性や信頼性を評価する基盤として必要な計量標準 62 種類を新たに開発し、供給を開始する。また、第 1 期、第 2 期を通じて開発した計量標準約 530 種類を維持、供給するとともに、産業現場のニーズに応える高度化、合理化を進め、トレーサビリティの普及を促進する。

##### [中期実績]

・我が国の技術革新や先端産業の国際競争力を支え、また新素材、新製品の安全性や信頼性を評価する基盤として必要な計量標準 65 種類を新たに開発し、供給を開始した。また、第 1 期、第 2 期を通じて開発した計量標準約 530 種類を維持、供給するとともに、産業現場のニーズに応える 73 種類の高度化を行った。計量トレーサビリティの合理化に資する技術開発を行い、中でも定量 NMR 法の実用化は、一つの有機化合物の純度校正に必要な開発期間を飛躍的に短縮した。同方法に基づいた校正サービスは 5 年で約 170 物質に広がり、日本薬局方への採用など、普及に向けた取り組みが現在も加速している。また、リアルタイム校正技術、小型標準抵抗等を民間企業と共同で開発し、民間校正事業者の技術力向上に貢献した。食品や環境分析機関における技能向上を図るための分析技術向上支援プログラムを実施し、標準物質の普及啓発を行った。

##### [中期目標]

・資源エネルギーの安定供給の確保、防災等のため、地質調査を行うとともに、従来に比してより詳細な地質図の作成等を行う。

##### [中期計画]

・国土と周辺域において地質の調査を実施し、国土の基本情報として社会の要請に応えた地球科学基本図の作成及び関連情報の整備を行う。具体的には資源エネルギーの安定確保、防災等に資するため、従来に比して電子化などにより利便性を高めた各種地質図や活断層及び活火山などのデータベース等を整備、供給する。また、第 3 期中期目標期間中に 5 万分の 1 地質図幅を計 20 図幅作成する。

##### [中期実績]

・国土と周辺域において地質の調査を実施し、国土の基本情報として社会の要請に応えた地球科学基本図の作成及び関連情報の整備を行った。従来に比して電子化などにより利便性を高めた各種地質図等を Web 公開し、活断層及び活火山などのデータベースについて閲覧利便性を高める新機能を追加し、津波堆積物データベースの公開を始めた。また、第 3 期中期目標期間中に 5 万分の 1 地質図幅を計 20 図幅作成した。

#### (2) 新規技術の性能及び安全性の評価機能の充実

##### [中期目標]

・研究開発によって得られた新規技術の社会への普及に不可欠な性能及び安全性の評価について、民間企業とのコンソーシアム等を活用しつつ、評価技術の開発、基準の作成を推進する。そのため、産総研内に性能及び安全性評価の推進を主務とする組織を設置する。

##### [中期計画]

・新たに生み出された製品やサービスに対して、その性能や安全性を客観的に評価する計測、評価及び分析技術を開発し、試験方法、試験装置及び規格等の作成を通じて普及させる。その際、企業及び業界団体や、基準認証関係機関とコンソーシアムを形成し、開発、作成、普及を加速する。また、国際標準化活動をコンソーシアム活動に反映するために、それぞれのプロジェクトを横断的に管理する組織を平成 22 年度中に産総



研に設置して、基準認証関係機関との連携を促進し、効果的な標準化活動を推進する。

[中期実績]

- ・標準化活動を横断的に管理する組織として「国際標準推進部」を平成 22 年 10 月 1 日に設置した。また、産総研の国際標準推進の大枠の方向性について議論するために「標準化戦略会議」を設置した。同会議での議論を踏まえ、標準化・認証に係る内外の機関・分野の戦略課題の調査・分析に基づく産総研の国際標準推進の活動方針の検討とその活動実施を推進する「標準化・認証検討委員会」を設置した。「標準化戦略会議」や「産総研アカデミア」での議論を踏まえ、「ファインバブル産業会」のコンソーシアムを形成し、国際標準化に向けた議論を開始した。その他、標準化・適合性評価活動を支援するため、「ナノセルロースフォーラム」及び「医療機器レギュラトリーサイエンス研究会」、「ナノ材料の産業利用を支える計測ソリューション開発コンソーシアム」等のコンソーシアムを設立した。
- ・平成 23 年度以降は毎年度、「国際標準推進戦略シンポジウム」を開催し、産総研における国際標準化推進の取り組みを対外的に情報発信した。第 1 回及び第 2 回シンポジウムの議論については、書籍「未来をひらく国際標準」及び「未来をひらく国際標準 2」としてまとめ、発行した。

[中期目標]

- ・開発した性能及び安全性評価技術の標準化を進めるとともに、蓄積した技術や知見等について民間認証機関への移転を推進する。

[中期計画]

- ・我が国の認証体制を強化するために、新たな技術に対する試験法及び評価方法の標準化を推進し、人材育成などにより技術の民間移転を推進する。

[中期実績]

- ・我が国の認証体制を強化するために、太陽電池の製品認証の信頼性向上や普及促進に必要な基準太陽電池セルの校正等の依頼試験を計 99 件実施し、民間の技術移転を一層推進した。
- ・民間の認証体制整備支援のため試験所間比較、適合性評価に係わる活動を計 30 件行い、新たな認証体制を整備した。これらの活動により、評価方法の標準化及び技術の民間移転が推進され、二次電池太陽電池セルの校正業務については平成 23 年度に「電気安全環境研究所」に移管した。
- ・経済産業省の「IEC 次世代標準化人材養成プログラム」及び「ISO 国際標準化人材育成講座」に協力するとともに、認証に関する国際標準化セミナーの開催等を通して認証に携わる人材の育成を推進した。

[中期目標]

- ・環境配慮素材の物性等の性能・安全性のデータベースの整備を推進する。

[中期計画]

- ・性能・安全性評価のために必要な知的基盤として、信頼性が明示された材料特性等のデータベースの整備、供給を推進する。

[中期実績]

- ・産総研で公開している複数のデータベース間を連携させ、地理空間・地図系、物質・材料系、人体系、情報系にまとめてデータバンクの公開を進めた。データベースの整備(52 件)を行い、整理・統合した形で公開(32 件)したことで、例えば「有機化合物のスペクトルデータシステム」では 25,469 万件のアクセス件数を得る等、社会に活用される知的基盤整備を推進した。

### (3) 研究開発成果の戦略的な国際標準化、アジアへの展開

[中期目標]

- ・研究開発プロジェクトの企画の段階から、標準化を見据えたものとし、国際標準化の提案を拡大する。我が国の提案の実現に向け、国際標準化を検討する国際会議等への専門家の派遣数を拡大する。

[中期計画]

- ・我が国の産業競争力の向上のため、標準化が求められる技術については、その研究開発の開始に際して、あらかじめ標準化することを前提として計画的に実施するなど、国際及び国内標準化を重視した取組を行う。

[中期実績]

- ・企画段階から標準化を見据えた事業として、トップスタンダード制度を活用した「ファインバブル技術に関する

る国際標準化」「異種材料複合体の特性評価試験方法に関する国際標準化」を含む経済産業省標準化事業40テーマ、また、「ナノテクノロジー」「3D映像」を含む日米等エネルギー技術開発協力事業8テーマ及び、運営費交付金「標準基盤研究」55テーマなどを実施し、国際及び国内標準化を重視した取組を行った。

・ISO/TC 229 ナノテクノロジー国内審議団体及び ISO/REMCO 国内審議団体の国内審議委員会事務局として、それぞれの分野で国際標準化活動を主導した。

#### [中期計画]

・国際標準化を検討する国際会議への派遣等を前提とした、国際標準化活動における第3期中期目標期間終了時までのエキスパート登録数は、100名以上を目標とする。

#### [中期実績]

・中期計画期間終了時までに、国際標準化を検討する国際会議において総勢48名が議長、幹事、コンビーナ等の国際役職者に就任し、延べ258名のエキスパートが登録され、国際標準化への貢献が拡大した(第3期末時点)。

#### [中期目標]

・環境技術やその性能、信頼性に係る評価技術等の分野について、アジア諸国等の評価機関等との技術協力を行うとともに、可能な分野において国際標準化に向けた共同作業を行う。

#### [中期計画]

・バイオマス燃料の品質評価等の標準及び適合性評価技術のアジア諸国での円滑な定着等、アジア諸国との研究協力、標準化に向けた共同作業を推進する。

#### [中期実績]

・環境技術やその性能、信頼性に係る評価技術等の分野について、東アジア諸国とのネットワークを活用し、東アジア・ASEAN 経済研究センター(ERIA)のバイオディーゼル燃料の標準化、バイオマス利活用の持続性評価に関するワーキングプロジェクトの実施を支援した。さらに、再生可能エネルギーのベストミックス、地熱エネルギー源の持続性評価、再生可能モビリティエネルギーのベンチマークの3つの新たなプロジェクトを開始し、これらを通して標準化および研究開発に関する共同作業を推進した。

#### [中期計画]

・国際標準化を計画的に推進することにより産総研の成果を基とした国内提案も含めた標準化の第3期中期目標期間中の素案作成数は、100件以上、うちアジア諸国との共同で15件以上を目標とする。

#### [中期実績]

・標準基盤研究テーマの募集に加えて、所内と連携を図りつつ、候補テーマの発掘を実施するなど国際標準化を計画的に推進した。産総研の成果を基とした国内提案も含めた標準化の素案作成数(提案件数)は、第3期中期計画中に155件(国際標準94件、国内標準61件)を達成したが、うちアジア諸国との共同では13件であった。

・アジア諸国との連携体制構築の一環として、「日タイ連携ワークショップ」において、新燃料、太陽光発電、アクセンブルデザイン、人工関節等のテーマ毎の進捗報告を行うと共に、今後の進め方について協議を行い、国際標準化に向けた両国間の協力関係を維持・強化することで合意された。また、日中韓で構成される「北東アジア標準化フォーラム」において、中国が提案したナノテク標準化関連テーマの採択に賛同し、エキスパート登録などに協力した。

・基準認証イノベーション技術研究組合(平成23年1月設立)に設立時点から参画し、産総研施設の提供による研究開発支援及び組合関連委員会への委員登録によりアジア基準認証推進事業への技術的サポートを行った。

・関連する業界団体等と連携し標準化関連委託事業を計30件実施した。また日米政府エネルギー・環境協力合意に基づく米国国立標準技術研究所(NIST)との標準化協力受託事業を実施した。

## 4. 「知恵」と「人材」を結集した研究開発体制の構築

### (1) 産学官が結集して行う研究開発の推進

[中期目標]

・ナノテクノロジー、太陽光発電、蓄電池、ロボット等の分野において、つくばセンターや地域センターの研究環境を整備すること等を通じて産業界、大学及び公的研究機関の多様な人材を結集し、世界をリードする研究開発を推進する。あわせて、施設や設備の外部利用、共同研究時の知的財産の保有に関するルール作り等を行う。

[中期計画]

・産総研のインフラをコアにして、産業界、大学及び公的研究機関の多様な人材や研究施設等を集約した最先端のナノテク拠点を構築し、既存電子デバイスの基本的限界を打破し、微細化や低消費電力化をもたらす高性能、高機能なナノスケールの電子、光デバイスの開発を行う。

[中期実績]

・産総研が保有するSCR等の最先端の施設をコアとして、筑波地区の公的研究機関、国立大学と共に、多様な人材の集積によるナノテクノロジーに関する最高水準の研究開発及び人材育成の拠点(つくばイノベーションアリーナナノテクノロジー拠点)の活動を平成22年より開始した。

[中期計画]

・太陽光発電では我が国唯一の一次基準太陽電池セルの校正機関としての知見を生かし、大規模フィールドテストや屋外評価技術等の拠点化を行い、実用化に必要な研究開発を加速する。

[中期実績]

・屋外曝露による太陽電池モジュールの劣化機構を調査し、高温、高湿、紫外光照射、機械的圧力、高システム電圧等の劣化因子と各種の劣化現象の相関を明確化した。屋外での劣化の再現には劣化因子を組み合わせた試験法が有効であることを示すとともに、寿命予測に繋がることが期待される新規加速試験法を開発した。特にこれまで明確化されていなかった加速試験時間と屋外寿命の関係について、モジュール内残留酢酸量が指標となることを実験的に証明するとともに、新規に開発したモジュール部材を用いることにより、予測寿命30年の結晶シリコンモジュールを実現した。また、17種類の太陽電池アレイで構成される大規模フィールドテストサイトを構築するとともに、屋外発電量評価と長期信頼性評価に関するデータを蓄積した。さらに、電圧誘起劣化を屋外で再現可能なシステムを世界で初めて構築し、多湿環境で電圧誘起劣化が生じやすいことを実証した。

[中期計画]

・革新的な電池材料や評価技術の開発を行うための拠点を、材料分野において世界的なシェアを有する国内複数企業を結集し、構築する。

[中期実績]

・世界的シェアを有する国内企業を含む約二十社からなる、革新的な電池材料や評価技術の開発を行うための拠点を構築した。まず、正極活物質にLCO(コバルト酸リチウム)、LFP(リン酸鉄リチウム)、LMO(マンガン酸リチウム)、NCA(ニッケル-コバルト-アルミ3元系)、NCM(ニッケル-コバルト-マンガン3元系)、負極活物質に人造黒鉛、天然黒鉛、ハードカーボンを選び、これら組み合わせによる5種類の電池構成モデルを選定し、仕様、製造方法、評価方法をまとめた評価基準書の一次版を策定し、さらに、技術開発動向に合わせて、4.35V高電圧電池、Niリッチ高容量電池の2種を基本型の派生型として追加した。一次版の精査を行うとともに、電池の安全性試験として、圧壊、釘刺し、昇温、過充電の試験条件や観察法などを基本手順書に加えてその測定法の改訂を進め、評価基準書最終版として取りまとめた。

[中期計画]

・生活支援ロボットでは世界初となるロボットの新しい安全基準を構築し、実証試験を行うための拠点を構築する。

[中期実績]

・生活支援ロボットの世界初となる新しい国際安全規格のISO標準化を達成し、そこで示される安全要求を検証するための試験、評価、リスクアセスメント技術を開発した。具体的にはシミュレーションに基づくリスクアセスメント手法を開発し、国際安全規格に適合したロボットのタイプ別に多数の要素数での分析を実現した。また一般機械や自動車の機能安全規格の概念調査と分析により、センサ技術、制御技術、インタフェース技術等の安全システム設計の技術要件を明らかにした。以上の成果は映像等で公開するとともに、基準ロボッ

トを作成して開発者むけのリファレンスとするなど、実際のロボット開発に利用しやすい形で開発者に提供し、また ISO での標準化提案と規格策定に貢献した。これらの成果を活用し、実証試験を行なうための拠点として生活支援ロボット安全検証センターを構築した。

#### [中期計画]

・施設や設備の外部利用を促進することで効率的に成果を生み出す制度を構築する。共同研究時の知的財産の保有に関して、技術移転、製品化等を促進するためのルール作り等を行う。

#### [中期実績]

・施設や設備の外部利用を促進するため、産総研独自の先端的研究施設等を企業が利用できるように運用・手続きの方法を定めた。この運用・手続きに基づき、産総研の研究施設等を民間企業等に貸与し、「遺伝子組換えイヌインターフェロン $\alpha$ 発現イチゴの生産・調整及びそれを原料とする動物用医薬品の製造」、「SiC パワーデバイスチップの生産」、「単結晶ダイヤモンドの供給」及び「スーパーグロース法による単層 CNT 試験サンプルの配布」の4事業を行った。

・知的財産権の戦略的・効率的な取得、管理、活用に向け、「産総研知的財産ポリシー」を策定し、同ポリシーのもと、チェックシート(出願戦略シート)などを利用した検討体制を構築し、運用を開始した。

・さらにこれらの取り組みを見直し、平成 26 年度には、研究テーマ単位で知財戦略を検討するための情報集約ツール(統合シート)を導入するとともに、研究者が自ら知財戦略を策定できるようになることを目指したガイドライン(知的財産行動指針)を作成し、運用した。

・併せて、成果の一層の普及を目指し、共有知財にかかる不実施補償の廃止、共有知財の第三者実施許諾の際の事務簡素化を主旨とする共有知財の取扱いの見直しを行い、平成 26 年 11 月より新たなルールでの運用を開始した。

・他の TIA-nano 中核機関と協力し、TIA-nano 拠点活用プロジェクトのための参考資料として「拠点活用プロジェクトにおける知的財産権の取扱いに関するガイドライン」を策定するとともに、TIA-nano 拠点活用プロジェクトで創製された TIA-nano 中核機関同士が共有する知財を円滑に技術移転できるよう、その取扱いを定めた協定を締結した。

#### [中期計画]

・省庁間の壁を超えて、我が国の研究開発能力を結集した研究成果の実用化・製品化の取組における中核的な結節点としての機能の発揮について積極的に検討する。その際、国費により研究開発を行っている研究開発独立行政法人などとの連携を図ることにより、国費による研究開発のより効果的な研究開発体制構築や成果の実用化や製品化に向けた取組の強化をも目指す。

#### [中期実績]

・経済産業省傘下の産総研と文部科学省傘下の NIMS、KEK 及び筑波大学とで、省庁の壁を越え発足させた TIA-nano の理念の下で効果的な研究開発体制や成果の実用化体制について検討した。具体的には、TIA-nano の運営最高会議のもと、ナノエレクトロニクス、パワーエレクトロニクス、カーボンナノチューブ、知財や大学院連携など 10 のテーマ別の WG で将来的な技術予測のもと進めるべき技術開発の方向性を議論し、運営最高会議での決定を経て実施する体制を確立した。

#### [中期計画]

・これにより、産総研の「人」又は産総研という「場」を活用する形で実施される外部資金による研究規模が、第 3 期中期目標期間終了時まで産総研運営費交付金の 50%以上となることを目指す。

#### [中期実績]

・「人」や「場」等の産総研のリソースを活用した共同研究及び、受託研究並びに技術研修等を推進し、外部資金による研究規模の拡大を図るため、組織再編とあわせてイノベーションコーディネータ及び連携主幹の増員と研究ユニットへの配置も行った。

・大型共同研究創出のための所内制度および支援体制の見直しを行った。また、技術研究組合参画研究については、参画のための所内制度及び支援体制を構築した。

・27 の技術研究組合に参画し、18 の技術研究組合の主たる研究拠点を産総研内に設置して集中研究を実施した。

・産総研の「人」又は産総研という「場」を活用する形で実施される外部資金による研究規模が、第 3 期中期目

標期間において常に産総研運営費交付金の 50%以上を達成した。

・企業からの外部資金獲得に特化した「資金提供型共同研究獲得支援事業(カタパルト事業)」を立ち上げ、3 年間施行した。60 件の研究課題の内 23 件が資金提供型共同研究契約として締結され、企業からの外部資金獲得に貢献した。

#### [中期目標]

・世界トップに立つ研究機関を目指し、論文数の拡大を推進するとともに、その論文の被引用数に基づく世界ランキングの向上を実現する。

#### [中期計画]

・世界トップに立つ研究機関を目指すべく、年間論文総数で 5,000 報以上を目指すとともに、論文の被引用数における世界ランキングにおける順位の維持向上を図る。

#### [中期実績]

・平成 22 年度から 26 年度の産総研全体の年間論文総数は、4,512 報、4,256 報、4,176 報、4,246 報、3,544 報であった。平成 22 年度から 24 年度の論文の被引用数に基づく世界ランキング(トムソンロイター社のプレスリリース)は 152 位、146 位、150 位と推移した。平成 25 年度、26 年度については ESI に基づく集計で、184 位、192 位と推移した。平成 24 年度から論文数低下への対応を開始し、対策として論文発表への意識向上、優秀な大学院生・若手研究者の獲得などのアクションプランを策定した。その一環として、優秀な論文を表彰する産総研論文賞を創設し、5 件の論文を表彰する等、論文の質と量の維持向上を図った。

### (2) 戦略的分野における国際協力の推進

#### [中期目標]

・燃料電池、バイオ燃料の技術等のクリーン・エネルギー技術分野における米国の国立研究所との間の共同研究等を推進し、国際的な人材交流、研究テーマの拡大を実施する。

#### [中期計画]

・世界各国の研究情勢の把握と有力研究機関との有機的連携に基づき、効率的かつ効果的に研究開発を実施するとともに、国際的研究競争力強化のための研究者海外派遣、研究者招へいによる人材交流を促進する。

#### [中期実績]

・米国オークリッジ国立研究所、米国サバンナリバー国立研究所、独フラウンホーファー研究機構、中国上海交通大学等、海外の主要研究機関等と、新規に 9 件の包括研究協力覚書を締結した。これにより、組織間の連携を強化し、幅広い研究分野での国際的な人材交流、研究テーマの拡大が促進された。

・産総研フェローシップ制度、外部資金の活用により、産総研から 46 名を在外研究員として海外へ長期派遣し、国際競争力のある人材育成を推進した。

・産総研フェローシップ制度、研究ユニット予算、外部資金の活用により、海外から 1,059 名(6 日間以上)の招へい研究員を受入れた。

・JICA の研修、JSPS サマープログラム等により、海外から 355 名の技術研修生を受入れた。

・コンプライアンスの向上と外国人支援の充実を図るため、職員の義務を定めた重要規程類など 57 本の規程の英訳を行った。

・産総研フェローシップ事業により派遣される若手研究者のために、海外出張に係る所内手続及び注意事項をマニュアル化しイントラに掲載した。内容を随時見直し、派遣研究者が手続きを円滑に進められるよう支援した。また、相手方機関より提出を求められた外来研究員契約書の条文の確認等を行った。

・長期在外研究経験者より収集した現地での生活・研究環境や事務手続きに関する情報を取りまとめ、有効活用できるよう体系化した資料に整理し、以降の派遣者に情報提供を行った。

#### [中期目標]

・バイオマス等において、アジア諸国等の研究機関との間で、現地における実証、性能評価に関する研究協力等を拡大する。

#### [中期計画]

・特に、低炭素社会実現のため、クリーン・エネルギー技術分野で再生可能エネルギー研究所をはじめとする

米国国立研究所と密接に連携し、燃料電池、バイオマス燃料等再生可能エネルギー関連技術、省エネルギー材料、デバイス技術等に関する共同研究、研究者の派遣及び受入れ、ワークショップの開催等による新たな研究テーマの発掘などの協力を拡大、加速する。

[中期実績]

・日米等エネルギー環境技術研究協力事業のもと、米国エネルギー省傘下および商務省傘下の計 11 研究所および欧州等の機関と連携し、太陽光発電、バイオマス燃料等の再生可能エネルギー関連技術の他、燃料電池、人工光合成、水素エネルギー、熱電変換等のクリーンエネルギー技術に関する研究開発を推進した。平成 22 年度より開始し、平成 26 年度まで全 35 テーマを実施した。本事業において、延べ 336 名の研究者を連携先に派遣するとともに、延べ 39 名を日本に招へいた。合同ワークショップを計 5 回開催し、情報交換、研究の進め方に関する議論、新規研究テーマの発掘等に役立てた。

[中期計画]

・また、マレーシア標準工業研究所、タイ国家科学技術開発庁、南アフリカ地質調査所、ブラジルリオデジャネイロ連邦大学などのアジア・BRICs 諸国等の代表的研究機関との相互互恵的パートナーシップにより、バイオマス利活用、クリーンコール技術、医工学技術、環境浄化技術、レアメタル資源評価等を中心に現地における実証、性能評価を含む研究協力を推進し、アジア・BRICs 諸国等における課題解決に貢献する。

[中期実績]

・アジア、BRICs 諸国とは、エネルギー分野、ライフサイエンス分野における現地資源を活用した共同研究、資源探査、計量標準技術の普及等を中心に連携を強化した。  
・マレーシア標準工業研究所(SIRIM)とは、東アジア・ASEAN 経済研究センター(ERIA)の国際的枠組を活用したバイオマス利活用持続性評価等に関する共同研究を推進した。  
・タイ国家科学技術開発庁(NSTDA)、タイ科学技術研究所(TISTR)とは、バイオマスの輸送用燃料化プロジェクトを推進し、バイオ燃料の標準化に向けた実車走行試験を日系現地企業の協力のもと実施した。  
・インドネシア技術評価応用庁とは、産総研と日本企業との 3 者による天然ゴム増産に関する国際共同プロジェクトを推進した。  
・インド科学技術省バイオテクノロジー庁(DBT)とは、産総研内および DBT 内に共同研究ラボを設立し、抗がん試薬開発に向けた共同研究を推進した。  
・南アフリカ地質調査所(CGS)、モンゴル鉱物資源エネルギー省(MMRE)、ブラジル鉱産局(DNPM)とは、鉱物資源調査に関する協力を推進した。

[中期計画]

・さらに、仏国立科学研究センター、ノルウェー産業科学技術研究所など欧州の先進研究機関とロボティクス、環境・エネルギー技術、製造技術等での連携、その他新興国等も含む協力を推進する。

[中期実績]

・仏国立科学研究センター(CNRS)とは、産総研内のジョイントラボに CNRS の研究員が常駐する形でヒューマノイドロボットに関する共同研究の推進を図り、仏大使館主催ワークショップや仏政府高官の視察等外交の場において成果をアピールできた。  
・独フラウンホーファー研究機構とは、関西センター内にプロジェクトセンターを設立し、電場応答性高分子アクチュエータの共同開発を加速したほか、太陽電池の国際標準化に向けた信頼性評価等に関する連携を実施した。  
・ノルウェーとは、ノルウェー科学技術大学、産業科学技術研究所を中心に、ワークショップ開催等を通じてエネルギー分野での連携を深めるとともに、福島再生可能エネルギー研究所との研究協力の構築を開始した。

[中期計画]

・以上の実現のため、第3期中期目標期間中において包括研究協力覚書機関との研究ワークショップ等を計 50 回以上開催する。

[中期実績]

・包括研究協力覚書締結機関との連携強化と相互交流を目的として、「産総研イノベーションワークショップ」をタイとインドネシアで開催、「日米クリーンエネルギー技術協力ワークショップ」を 4 回、米国で開催するなど、合計 53 回(海外開催 30 回、日本国内開催 23 回)の国際ワークショップ等を開催し、関係各国との国際連携

をさらに進展させた。

### (3)若手研究者のキャリアパス支援及び研究人材の交流推進

#### [中期目標]

・産総研を通じてポスドク等の研究人材を共同研究の相手先企業に派遣すること等により、若手研究者の能力向上や就職の機会を拡大する。

#### [中期計画]

・産総研イノベーションスクールにおいて、本格研究に関する講義、研究実践のためのツールを用いた研修、産総研と関連のある企業での OJT 等を通じて、基礎的研究を製品化まで橋渡しできるイノベティブな博士研究者等を育成し、社会に輩出する。また、専門技術者育成事業、連携大学院制度等により、我が国の産業技術の向上に資することができる人材を輩出する。

#### [中期実績]

・人材育成を通じたイノベーション推進の観点から、第 4 期生から第 8 期生までのポスドクコース(PD 生)103 名と、第 7 期生から第 8 期生までの講義専門コース(LC 生)4 名を産総研独自のカリキュラムにより育成した。具体的には、延べ約 10 日間の集中講義及び演習(PD 生、LC 生)、産総研の研究現場での一年間の本格研究実戦(PD 生)、企業等 87 機関での平均約 2.8 ヶ月間のインターンシップ実施(PD 生)を行った。  
・専門技術者育成事業については、平成 24 年度末までに育成期間を終了した対象者は 207 名で、のべ 462 の資格を取得し、大学や研究所への就職率はほぼ 6 割に達した。高い技術レベルを持った専門技術者を育成するという当初目的にそった成果が得られたため本事業は平成 24 年度をもって終了した。  
・連携大学院の教授、准教授として 1,674 名を大学院に派遣し講義等を実施するとともに、804 名の学生を所内に受け入れ研究指導等を実施した。

#### [中期計画]

・イノベーションスクールについては、ノウハウを社会に広く普及するため、大学等のポスドクや博士課程の学生を受け入れるなど、他機関とも連携して博士研究者の育成を行っていく。

#### [中期実績]

・人材育成を通じたイノベーション推進の観点から、第 4 期生から第 8 期生までの博士課程コース(DC 生)46 名を産総研独自のカリキュラムにより育成した。具体的には延べ約 10 日間の集中講義及び演習(DC 生)、産総研の研究現場での一年間の本格研究実践(DC 生)を行った。また、各種シンポジウムや学会の人材育成に関するオーガナイズドセッションでスクール制度を紹介して宣伝するとともに、同様な人材育成の取り組みをしている筑波大学、北海道大学、早稲田大学等の他組織と連携した活動を実施した。

#### [中期目標]

・企業の研究人材の受け入れや産総研研究者の企業への派遣等、人材交流を拡大する。

#### [中期計画]

・外部研究員の受け入れ及び産総研研究員の外部派遣などにより、研究水準の向上及び研究成果の産業界への円滑な移転等を推進する。

#### [中期実績]

・共同研究の派遣研究員(9,286 名)、外来研究員(6,337 名)、技術研修員(7,079 名)、技術研究組合のパートナー研究員(2,650 名)等の外部人材を積極的に受け入れ、研究水準を向上させるとともに、産業界及び学生等に対する研究成果の移転を推進した。また、委員委嘱(17,655 名)、役員兼業(149 名)等の制度の活用に加え、連携大学院制度に基づく教員委嘱(1,674 名)などにより、大学等への人材供給を推進した。さらに、産総研コンソーシアムによるシンポジウムの開催や包括協定を締結した相手方との技術交流会等の開催により、人材交流の促進、協力関係の強化を行い、研究水準の向上及び研究成果の産業界への円滑な移転等を推進した。  
・また、平成 26 年度に産総研リサーチアシスタント(RA)制度を創設し、全国の大学院生(博士課程、修士課程)46 名を産総研の契約職員として雇用し、人材交流をさらに拡大した。

#### [中期計画]

・第3期中期目標期間終了時までには、民間企業、大学等への人材供給や外部からの受け入れ5,000名以上を目指す。

[中期実績]

・共同研究の派遣研究員(9,286名)、外来研究員(6,337名)、技術研修員(7,079名)、技術研究組合のパートナー研究員(2,650名)等の外部人材を積極的に受入れ、研究水準を向上させるとともに、産業界及び学生等に対する研究成果の移転を推進した。また、委員委嘱(17,655名)、役員兼業(149名)等の制度の活用に加え、連携大学院制度に基づく教員委嘱(1,674名)などにより、大学等への人材供給を推進した。これらの制度の活用により、外部との人材交流は44,830名となり、目標を達成した。

## 5. 研究開発成果の社会への普及

### (1) 知的財産の重点的な取得と企業への移転

[中期目標]

・産総研として取得し管理すべき知的財産の対象を重点化するため、知的財産の取得や管理に係る方針を策定する。

[中期計画]

・産総研の技術を有効に社会普及させるために、産総研として取得し管理すべき知的財産権に関する方針を平成22年度中に策定し、コアとなる技術に加え、その周辺技術や応用技術についても戦略的に特許を取得することで効果的に技術移転を行う。また、成果の民間等への移転のために外部の技術移転機関(TLO)を活用していたが、第3期中期計画開始に合わせて産総研内部に技術移転機能を取り込むことで関連部署との連携を強化し、より効果的に技術移転を行うことのできる体制を構築する。

[中期実績]

・知的財産権の戦略的・効率的な取得、管理、活用に向け、「産総研知的財産ポリシー」を策定し、同ポリシーのもと、チェックシート(出願戦略シート)などを利用した検討体制の構築を行い、運用を開始した。  
・さらにこれらの取り組みを見直し、平成26年度には、研究テーマ単位で知財戦略を検討するための情報集約ツール(統合シート)を導入するとともに、研究者が自ら知財戦略を策定できるようになることを目指したガイドライン(知的財産行動指針)を作成し、運用した。併せて、成果の一層の普及を目指し、共有知財にかかる不実施補償の廃止、共有知財の第三者実施許諾の際の手續簡素化を主旨とする共有知財の取扱いの見直しを行い、平成26年11月より新たなルールでの運用を開始した。  
・それまで別法人であった技術移転組織を吸収合併することにより組織の壁を取り払い、知財の創造、保護、活用をシームレスに行う体制を整えた。

[中期目標]

・円滑な技術移転を実現するため、知的財産権の対価の柔軟化など、管理体制等を見直す。

[中期計画]

・研究成果の社会還元を積極的に推進するため、成果移転対価の受領方法を柔軟化することで、技術移転の一層の推進を目指す。また、金銭以外の財産での受領の際には、審査委員会等を設置し妥当性等を事前に審査することで適切な運営に努める。

[中期実績]

・改正研究開発力強化法の成立により、金銭によらない出資が可能となったことを踏まえ、出資に係る具体的な方法等について、所内に設置した検討委員会で検討を行った。

[中期計画]

・第3期中期目標期間終了時までには800件以上の実施契約件数を目指す。

[中期実績]

・円滑な技術移転を実現するため、それまで別法人であった技術移転組織を吸収合併することにより組織の壁を取り払い、知財の創造、保護、活用をシームレスに行う体制を整えた。  
・また、成果の一層の普及を目指して、共有知財にかかる不実施補償の廃止、共有知財の第三者実施許諾の際の手續簡素化を主旨とする共有知財の取扱いの見直しを行った。



・第3期中期計画終了時の実施契約件数は940件であった。

## (2) 研究開発成果を活用したベンチャー創出支援

### [中期目標]

・産総研の研究成果だけでなく、大学、他の研究機関等の成果を組み合わせた事業創出を支援する。事業の円滑な発展のため、産総研職員の企業における兼業等を促進する。

### [中期計画]

・競争力あるベンチャー創出のため、大学等他機関の研究成果も積極的に活用し、加えて産総研のポテンシャルをもって事業化を支援する取り組みを行う。また、職員のベンチャー企業への兼業の促進及び共同研究の推進等産総研との連携強化並びに外部のベンチャー支援機関との緊密な連携を通じて、内外の研究成果を産総研のベンチャー創出、育成及び支援を経て事業化する独自のモデルを構築し発展させる。

### [中期実績]

・第3期中期計画期間に21件の「スタートアップ開発戦略タスクフォース」(TF)を実施した。展示会等の場を活用したマーケティング活動や、大学、他の研究機関等の成果も活用するための共同研究開発等を積極的に展開し、産総研技術移転ベンチャー21社(うち、TF発ベンチャー12社)を創出するに至った。

また、職員のベンチャー企業への兼業支援等、ベンチャー技術移転促進措置に基づく支援や、外部支援機関と共催したビジネス・マッチング等18件、イベントへの協力等10件を実施し、産総研技術の事業化を積極的に支援した。結果として、第3期中期計画期間に1社がIPOを、9社がM&Aを実現することに貢献した。製品化の面では、産総研技術移転ベンチャー、大企業及び産総研の三者連携から複数の賞を受賞するような新製品の発売に至った。

### [中期計画]

・また、ベンチャー企業からの収入を増加させるため、成果移転の対価として金銭以外の財産での受領の可能性を検討する。なお、その対価の受領にあたっては審査委員会等を設置し妥当性等を事前に審査することで適切な運営に努める。

### [中期実績]

・改正研究開発力強化法の成立により、金銭によらない出資が可能となったことを踏まえ、出資に係る具体的な方法等について、所内に設置した検討委員会で検討を行った。

## (3) 研究開発成果を活用しようとする者への出資による実用化支援

### [中期目標]

・研究開発の成果の実用化及びこれによるイノベーションの創出を図るため、産総研の研究開発の成果を事業活動において活用しようとする者に対し、出資(金銭の出資を除く。)並びに人的及び技術的援助の業務を行う。

### [中期計画]

・研究開発の成果の実用化及びこれによるイノベーションの創出を図るため、産総研の研究開発の成果を事業活動において活用しようとする者に対し、出資(金銭の出資を除く。)並びに人的及び技術的援助の業務を行う。

### [中期実績]

・研究開発力強化法(平成25年12月改正)に基づき、現物出資を可能とする規程及び関連委員会等を整備した。

・出資事業に必要な所内外の識者による審査を規程を整備し実施した。

## (4) 企業や一般国民との直接対話を通じた広報の強化

### [中期目標]

・オープンラボ等を通じた積極的な広報により、研究者や国民に対し産総研の成果を直接アピールする機会を拡大し、認知度を高める。

#### [中期計画]

・報道機関等を通じた情報発信を積極的に実施するとともに、サイエンスカフェ、出前講座、実験教室等の国民との対話型活動も充実させる。一般国民が手軽に産総研を知ることができる有効な手段の一つであるホームページの抜本的な改善を始め、広報誌、メールマガジン等の様々な広報手段を活用し、効率的かつ効果的な広報活動を推進する。

#### [中期実績]

・各分野の研究企画室と広報部との連携によるプレス発表素材の掘り起こしに努め、計 393 件のプレス発表を行った。発表資料については、発表者や所内査読者等と連携し、わかりやすさという観点から発表文を作成した。

・産総研から積極的に研究成果を発信することに加え、それらの報道機会を増加させるため、つくば、東京、東北、関西、九州といった各拠点で記者懇談会を開催し、記者との信頼関係構築、強化を進めた。また、地震、津波、活断層等の東日本大震災や再生可能エネルギーに関連した社会的関心が非常に高い話題について、取材に対応し、信頼性の高い情報の発信に努めた。平成 21 年から開始した日刊工業新聞への連載は開始から週 1 回、計 239 回行い、マスメディアを通じた研究成果の発信に尽力した。

・中高生や一般市民を対象に、産総研の研究内容や成果について分かりやすく情報提供することを目的にサイエンスカフェを計 42 回開催、産総研だけでなく科学や技術そのものへの興味を深めてもらうための出前講座、実験教室を計 409 回実施した。つくばだけでなく各拠点でも開催することで、対話型広報活動の充実を図った。

・一般公開はつくばセンターの他、各拠点の全てでそれぞれ年 1 回開催した。年平均 14,000 人が来場しており、特に近隣の中高生による出展ブースを設ける等の取り組みにより、一般公開を通じて地域住民との連携をさらに深めることができた。

・科学・技術フェスタ in 京都、サイエンスアゴラ、つくば産業フェア、サイエンスフェスタ in 秋葉原等、外部機関と連携したイベントに計 57 回出展し、産総研の認知度向上・理解促進と科学技術への親近感醸成を図った

・平成 22 年度から平成 25 年度まで、オープンラボを開催し、産総研の「見える化」を推進した。平成 26 年度は特に経営層を対象としたテクノブリッジ事業の一環としてテクノブリッジフェアを新たに開催し、産総研への理解促進と密接な連携の構築を図った。

・国民に広く産総研を知ってもらうための手段であるホームページは、ユーザーの情報収集の利便性向上のため、平成 26 年 3 月に一新し、続いて各地域拠点のホームページリニューアルに着手した。

・学生や若年層を含めたより広い層の産総研の認知度向上を目的に、新たな広報ツールとしてソーシャルメディアネットワーク(Twitter)による情報発信を進め、ホームページや月 2 回のメールマガジン(最新の配信先は 6,341 件)の発行とともに、速やかに信頼性の高い情報発信を行うことに努めた。また、難解な研究内容をより直感的に分かりやすく伝えられるよう動画コンテンツを計 208 本制作し産総研チャンネル(Youtube)に公開した。

・広報誌や産総研紹介パンフレットは、ターゲットとする読者層を意識した編集と、最新の研究成果の紹介により、産総研への更なる理解促進を目指して発行した。

・「産総研 TODAY」の制作にあたっては、アピール性の高い内容と分かりやすい編集、デザインに努め、また、電子ブックにより公開することで、読者層が増えるよう尽力した。

・産総研における社会的責任に関する取組と環境活動について平成 22 年度から新たに「産総研レポート」を制作した。記事の内容は毎年充実を図りつつ、「ISO26000 社会的責任の手引き」および「環境報告ガイドライン」に基づいて編集し、日本語版、英語版を発行した。

・研究成果が社会に役立つ事例を広く紹介することで、本格研究の理解増進を図るため、学術誌「Synthesiology」を刊行した。平成 22 年度以降は、特に所外への PR 活動を重視し、学会での発表や大学院での座談会を開催することで、認知度向上に努めた。

・常設展示施設「サイエンス・スクエアつくば」では、産総研の研究への理解を深めてもらえるよう展示内容の充実や特別展示の開催を図り、来場者は 5 年間の合計で約 18 万人となった。平成 26 年度の後半は、産総研の橋渡し機能の強化策の一つとして企業の経営層や研究者・技術者向けの内容とするため、全面改修を行い、平成 27 年 3 月にリニューアルオープンした。

・第 3 期中期計画期間中には、年 3 回以上の地質標本館特別展や年 2 回以上の特別講演会開催することにより、効率的かつ効果的な広報活動を推進した。平成 23 年の東北日本太平洋沖地震や平成 26 年の御嶽火山噴火災害等に際しては、地質調査総合センターの緊急調査の速報的展示も行った。地質標本館では年間

3～4 万人以上の入館者があり、学校等の団体に対して館内の展示解説を行い、教育委員会や学校と連携した補助授業や研修を行った。地球科学の理解促進のため、年数回程度の各種体験型のイベントを開催するとともに、博物館や産総研地域センターと協力する移動地質標本館を年数回程度開催した。地質相談所を窓口として外部機関や市民からの年 750 件程度の問合せに対応した。

・ホームページや広報誌、各種イベントでの情報発信にあたっては、産総研 CI を活用し、またデザイン性の優れた素材を用いることにより、産総研の認知度向上と広報効果増進に寄与した。

#### [中期計画]

・一般公開やオープンラボ、産総研キャラバン、サイエンスカフェ、出前講座、実験教室などは第 3 期中期目標期間中に 200 回以上開催する。

#### [中期実績]

・一般公開やオープンラボ、産総研キャラバン、サイエンスカフェ、出前講座、実験教室、外部イベント出展等の対話型広報活動を積極的に行い、計 560 回実施した。

### 6. その他

#### [中期目標]

・平成 24 年 3 月 31 日限りで特許庁からの委託による特許生物株の寄託や分譲等の業務等の全部を廃止する。なお、当該業務については、同年 4 月 1 日から独立行政法人製品評価技術基盤機構が承継する。

#### [中期計画]

・特許生物の寄託に関する業務及びブダペスト条約に基づき世界知的所有権機関(WIPO)により認定された国際寄託業務等については、「独立行政法人の事務・事業の見直しの基本方針(平成 22 年 12 月 7 日閣議決定)」における「本法人(産業技術総合研究所)の特許生物寄託センターと、製品評価技術基盤機構の特許微生物寄託センターを統合することとし、平成 23 年度以降、順次、必要な措置を講ずる。」との決定を踏まえ、平成 24 年 3 月 31 日限りで当該業務の全部を廃止する。なお、当該業務については、同年 4 月 1 日から独立行政法人製品評価技術基盤機構が承継する。

#### [中期実績]

・「独立行政法人の事務・事業の見直しの基本方針(平成 22 年 12 月 7 日閣議決定)」を踏まえ、これまで産総研が行ってきた特許微生物寄託業務を平成 24 年 4 月 1 日をもって製品評価技術基盤機構(NITE)へ承継した。

#### [中期目標]

・平成 23 年度補正予算(第 3 号)により追加的に措置された交付金については、東日本大震災からの復興のために措置されたことを認識し、革新的再生可能エネルギー研究開発事業、研究設備・機器の復旧及び巨大地震・津波災害に伴うリスク評価のための複合的な地質調査の取組のために活用する。

#### [中期計画]

・平成 23 年度補正予算(第 3 号)により追加的に措置された交付金については、東日本大震災からの復興のために措置されたことを認識し、革新的再生可能エネルギー研究開発事業、研究設備・機器の復旧及び巨大地震・津波災害に伴うリスク評価のための複合的な地質調査の取組のために活用する。

#### [中期目標]

・上記 1～5 を踏まえ、下記の分野について、それぞれ別表に示した具体的な技術開発を進める。

鉱工業の科学技術【別表 1】

地質の調査【別表 2】

計量の標準【別表 3】

## Ⅲ. 業務運営の効率化

### 1. 業務運営の抜本的効率化

## (1)管理費、総人件費等の削減・見直し

### [中期目標]

・運営費交付金を充当して行う事業は、新規に追加されるもの、拡充分等は除外した上で、一般管理費は毎年度3%以上を削減し、業務費は毎年度1%以上を削減する。

### [中期計画]

・運営費交付金事業のうち一般管理費については、新規に追加されるもの、拡充分等は除き、毎年度、平均で3%以上の削減を行う。また、一般管理費を除く業務経費について、毎年度、平均で1%以上の効率化を達成する。

### [中期実績]

・役職員の給与の見直し、退職手当支給水準の引下げ、施設管理業務等についての包括契約や複数年契約の導入、財務改善に直結するコスト削減(リサイクルシステム活用による資産の有効活用等)等の策を講じることにより、一般管理費の3%以上の削減及び一般管理経費を除く業務経費の1%以上の削減を毎年度達成した。

### [中期目標]

・総人件費は、「簡素で効率的な政府を実現するための行政改革の推進に関する法律」(平成18年法律第47号)等に基づき、平成18年度から5年間で5%以上を基本とする削減等の取組を引き続き実施するとともに、「経済財政運営と構造改革に関する基本方針2006」(平成18年7月7日閣議決定)に基づき、人件費改革の取組を平成23年度まで継続する。

### [中期計画]

・総人件費については、「簡素で効率的な政府を実現するための行政改革の推進に関する法律(平成18年法律第47号)」及び「経済財政運営と構造改革に関する基本方針2006(平成18年7月7日閣議決定)」に基づき、運営費交付金に係る人件費(A分類)を平成22年度までに平成17年度比5%以上削減し、平成23年度においても引き続き削減等の取組を行う。

### [中期実績]

・総人件費改革に関する政府方針等に基づき、平成23年度に総人件費を6%減(平成17年度比)とし、目標を達成した。

### [中期目標]

・一般管理費、諸手当及び法定外福利費について、適正な水準であるか等を含め、不断の確認を行い改善する。

### [中期計画]

・給与水準については、目標水準及び目標期限を設定してその適正化に計画的に取り組んでいるところであるが、引き続き着実にその取組を進めるとともに、その検証結果や取組状況を公表するものとする。

### [中期実績]

・「国家公務員の給与減額支給措置について」(平成23年6月3日閣議決定)及び「公務員の給与改定に関する取扱いについて」(平成23年10月28日閣議決定)の趣旨に沿って、産総研の役職員の給与の見直しを平成24年4月1日から平成26年3月31日まで実施した。

・「国家公務員の退職手当の支給水準引き下げ等について(平成24年8月7日閣議決定)」の趣旨に沿って、平成24年度から役職員の退職手当の支給引き下げを実施した。

・平成24年人事院勧告(平成24年8月8日)に基づき、平成26年4月1日より、55歳を超える職員の普通昇給の停止を実施した。

・平成26年人事院勧告(平成26年8月7日)に基づき、民間給与との較差是正のための給与改定を行うとともに、給与制度の総合的な見直しの一環として年功的な給与構造をフラット化するための給与の策定を行った。

・給与水準について、政府方針に基づき、主務大臣の検証を受けたうえで、公表を行った。

### [中期計画]

・研究支援業務のコスト構造を見直し、管理費の削減に取り組む。また、諸手当及び法定外福利費について

は、国及び他の独法等との比較において適正な水準であるかの検証等を行う。

[中期実績]

- ・夏季輪番・一斉休暇による電力使用量削減、複写機、複合機の一括契約化による経費削減、事業車両の廃止及び更新が必要な車両については購入からリース契約に切り替えを行い経費削減を実現した。
- ・諸手当については、一般職の職員の給与に関する法律、人事院規則等の改正に照らし、給与関係規程の検証を行い、国家公務員と同等の水準であることを確認した。また公表されている他独法の諸手当とも比較検証を行い適正水準であることを確認した。
- ・法定外福利費については、総務省からの法定外福利費の見直し(平成21年度)、レクレーション経費の取扱い及び法定外福利費の見直し(平成23年度)に基づき、国における取扱いと同等の水準に変更した。見直し後は経済産業省及び他独法と情報交換を行い、適正な水準であることを確認した。

[中期目標]

- ・施設管理業務等について、アウトソーシングを推進し、包括契約や複数年度契約の導入等により一層効率化を進める。

[中期計画]

- ・研修、施設管理業務などの外部に委託した方がより効率的な業務については引き続きアウトソーシングを進める一方、既にアウトソーシングを行っている業務については、内部で実施した方がより効率的な場合は内部化し、また、包括契約や複数年度契約の導入等、より効率的かつ最適な方法を検討し、業務の一層の効率化を進める。なお、これらの検討に当たっては、市場化テストの導入可能性についても検討を行う。

[中期実績]

1) つくばセンターにおける施設管理等業務

- ・「公共サービス改革等基本方針」に係る閣議決定(平成23年7月15日)に基づき、つくばセンターにおける施設・管理等業務について、関連する8業務を包括して市場化テストの枠組みの中で実施することとし、平成24年4月から平成27年3月までの3カ年度の期間で事業を実施した。
- ・同事業については、産総研の「つくばセンターの施設管理等業務評価委員会(平成26年5月23日開催)」並びに、内閣府の「官民競争入札等監理委員会(平成26年6月18日開催)」において、「達成されるべき管理・運営業務の質は達成されている、確保すべき水準は水準以上にある、実施事業者からの創意工夫を活用できている」との評価を受けるとともに、実施経費についても、市場化テスト導入前の実施に要した経費と比較して、事業期間全体で約169百万円の削減効果があった。
- ・平成27年度以降の事業については、競争性を確保する観点から、これまで1案件としていた事業から複数案件への変更を行い、内閣府の入札等監理委員会(平成26年10月20日開催)への附議を経て、平成27年4月から平成30年3月までの3カ年度の期間で事業を実施することとした。

2) 産総研情報システム運用管理支援業務

- ・平成24年7月に閣議決定された「公共サービス改革基本方針」において市場化テストの選定を受けた事業である「産総研情報システム運用管理支援業務」については、平成25年度に実施時期の検討を行い、内閣府と実施要項の作成スケジュール及び平成27年度以降の最短の入札時期の調整を行った結果、「平成30年4月から平成35年3月までの5年間の期間」で事業を実施することとし、平成26年7月に閣議決定がなされた。

[中期計画]

- ・研究支援業務については、より効率的かつ質の高い支援が可能となるような体制の見直しを行うとともに、効率的な時間活用の徹底及びマネジメント体制の強化による効率化を進める。

[中期実績]

- ・平成22年度には第3期中期目標期間における組織及び業務体制のあり方について検討を行い、平成22年10月に、より効率的かつ質の高い業務を行うことができる新たな体制へと抜本的な見直しを行った。平成23年度には前年度に再編した組織及び業務体制に関する課題等の摘出を行い必要な改善を図った。また、福島県における再生可能エネルギー研究開発等に係る拠点整備等に係る業務を行なうため「福島拠点設立準備室」を設置したほか、経済産業研究所及び情報処理推進機構との統合に係る具体的な検討を進めるため「法人統合準備室」を設置した。
- 平成24年度にはヒアリング等を通じて、より効率的かつ効果的な組織及び業務体制を構築するための課題

を抽出し必要な改善を図ると共に、事務職員に係る役職定年制の導入を実施するための見直しを行った。平成 25 年度には、平成 25 年 4 月につくばイノベーションアリーナナノテクノロジー拠点の施策を推進するためにつくばイノベーションアリーナ推進本部を設置、平成 25 年 10 月に東日本大震災復興基本法第3条等に基づき制定された「東日本大震災からの復興の基本方針」及び「福島復興再生基本方針」に基づき福島再生可能エネルギー研究所を設置した。また、これらに付随する組織及び業務体制の見直しのほか、適正化を図るための見直しを行った。

平成 26 年度には研究所の業務運営システム及びコンプライアンス推進体制の見直しのほか、研究戦略・イノベーション連携、人事等の経営重要事項については担当理事等による審議を経て理事長が決定する体制へと見直しを行った。

また、第4期中長期計画期間に産総研が目指す『社会ニーズ、産業ニーズを踏まえた世界最高水準の研究とその成果の「橋渡し」』を実現するための組織及び業務体制について検討を行った。

- ・平成21年度から継続して、毎週水曜日を「ノー残業デー」として位置づけ、定時退庁を促す館内放送や、管理監等による所内巡視等を実施し、職員に業務を効率的に遂行する意識を醸成するとともに、時間外労働時間の縮減の意識付けを行った。

- ・平成22年度から、労働時間管理者が管理する職員の労働時間を把握しやすくするために、前月の労働時間実績と毎月半月半ばにおける労働時間データの提供を行い、時間外労働が増えそうな傾向の職員については、労働時間管理者が健康管理等の面も踏まえ、業務遂行方法等についての指導を行うなど、労働時間の適切な管理に取り組んだ。

- ・平成 24 年度及び平成 25 年度において、総務本部長等による管理者向け労働時間管理説明会をつくばセンター事業所・地域センター毎に実施して、労働時間管理の重要性に理解を深め、時間外労働時間の縮減、業務効率化への意識向上を図った。

- ・職員に効率的な時間活用の意識を醸成するため、リフレッシュのための年次有給休暇取得促進キャンペーンを平成 23 年 7 月より毎年実施し、ポスターによる周知や取得実績の所内公表を行った。また、平成 23 年度より夏季輪番・一斉休暇の導入により各職員は週末の土・日曜日を出勤とし、翌月曜から振替休日(2 日間)、夏季休暇(3 日間)及び土・日曜日(2 日間)を組み合わせた連続休暇を実施した。また有給休暇取得促進の観点から、夏季輪番・一斉休暇前の勤務日となった土曜日・日曜日についても、リフレッシュのための年次有給休暇取得促進キャンペーンの一環として、年次有給休暇の取得の推奨・促進を行った。(平成 23 年度はつくばセンターのみ実施、平成 26 年度はつくばセンター及び臨海副都心センターのみ実施)。

- ・業務効率を上げるためのスキル等やタイムマネジメントスキルの向上を図るため、グループ長等研修、室長・室長代理研修、事務職員フォローアップ研修、新規主査研修、若手研究員研修等において、「業務効率化」や「労働時間管理」に関するカリキュラムを実施した。

#### [中期計画]

- ・所内リサイクル物品情報システムを活用した研究機器等の所内リユースの取り組みにおいて、第 3 期中期目標期間終了時までに年間 600 件以上の再利用を目指す。

#### [中期実績]

- ・第 3 期中期計画期間中の所内リユースの取組みによる各年度の再利用実績及び経費削減効果額は以下のとおりである。

平成 22 年度:	439 件	4.6 億円
平成 23 年度:	532 件	3.1 億円
平成 24 年度:	500 件	4.8 億円
平成 25 年度:	588 件	7.3 億円
平成 26 年度:	704 件	7.3 億円

#### [中期目標]

- ・独立行政法人を対象とした横断的な見直しについては、随時適切に対応する。

#### [中期計画]

- ・独立行政法人を対象とした横断的な見直しについては、随時適切に対応する。

#### [中期実績]

- ・「独立行政法人の事務・事業の見直しの基本方針(平成 22 年 12 月 7 日閣議決定)」を踏まえて、鉱工業に

関する科学技術の研究開発等について研究テーマの重点化による事業規模の見直しを継続して実施すると共に、つくば苜間サイト、九州センター直方サイト、中部センター瀬戸サイトを廃止し、現物を国庫納付した。

## (2) 契約状況の点検・見直し

### [中期目標]

・「独立行政法人の契約状況の点検・見直しについて」(平成21年11月17日閣議決定)に基づき、契約を徹底的に見直す。

### [中期計画]

・「独立行政法人の契約状況の点検・見直しについて」(平成21年11月17日閣議決定)に基づき、競争性のない随意契約の見直しを更に徹底して行うとともに、一般競争入札等(競争入札及び企画競争・公募をいい、競争性のない随意契約は含まない。以下同じ。)についても、真に競争性が確保されているか、点検・検証を行い、契約の適正化を推進し、業務運営の効率化を図る。

### [中期実績]

・産総研の「行政支出見直し計画」、「1者応札・1者応募に係る改善策」、及び契約監視委員会での点検・見直しによる指摘事項等を踏まえ、契約の適正化を推進するための取り組みを行った。

#### 第3期中期計画期間中の随意契約割合の推移

	<件数ベース>	<金額ベース>
平成22年度	3.5%	12.1%
平成23年度	3.5%	9.9%
平成24年度	2.1%	5.1%
平成25年度	2.3%	2.8%
平成26年度	2.3%	3.6%

#### 第3期中期計画期間中の一者応札割合の推移

	<件数ベース>	<金額ベース>
平成22年度	79.2%	58.1%
平成23年度	80.7%	59.8%
平成24年度	78.3%	73.2%
平成25年度	77.4%	46.5%
平成26年度	76.6%	79.5%

### [中期目標]

・一者応札及び100%落札率の削減等について有識者の意見を踏まえた改善を実施する。

### [中期計画]

・一者応札及び100%落札率の割合を少なくするため、適切な公告期間の設定等により競争性を確保し、競争性が働くような入札方法の見直しを図る。

### [中期実績]

#### ①適切な公告期間の設定

・平成21年7月からの継続した取組として、事業者が余裕を持って計画的に提案を行えるよう、事業内容に応じて適切な入札公告期間を設けるとともに、可能な限り説明会を実施し、説明会から提案締め切りまでの期間を十分に確保すべく取り組んだ。具体的には、10日としていた従前入札公告期間を延長し、平成21年7月から事業内容に応じて21日～30日(政府調達案件は50日以上)とする取り組みを継続して実施した。

#### ②適切な調達情報の提供

・平成22年3月より継続して、入札又は公募公告の案件について、要求する仕様内容をイメージしやすい件名設定に努めるとともに「仕様概要」を記載することとした。また、必要資料の提出期限等を公告情報として明記することとした。

・産総研の調達情報をより多くの事業者に提供するため、3機関(つくば市商工会、つくば研究支援センター、

筑波研究学園都市交流協議会)のホームページからのリンクを平成22年3月に設定するとともに、RSS方式により入札公告等の調達情報の配信を平成22年7月より実施し、情報提供の拡大を図った。

※RSS方式とは：新たな入札案件の公告等のホームページの更新情報を、希望するユーザーのブラウザー等を用いて自動配信する仕組み。

RSS 経由による情報発信件数(平成22年7月～平成27年3月 実績)

総アクセス数 約 8,780,000 件【約 7,575 件/日】

うち、RSS 経由でのアクセス件数 約 184,000 件【約 158 件/日】

※ 各公告案件に対する延べアクセス件数 (落札公告も含む)

※ 1日あたりの件数は土日等を除く

・調達予定のある機器等に関して、産総研公式ホームページ上の「参考資料募集」ページに必要とするスペック等の情報を公表し、仕様書の作成の基となる参考資料(パンフレット等)を広く業者から募集する取組を平成23年10月より実施した。

・入札参加事業者の新規参入を促すために、次年度の年間契約について予定一覧を作成し、当該入札公告がされるより前の前年度1月頃に産総研公式ホームページにて事前公表すると共に、産総研メールマガジン及びRSS方式による情報配信を平成25年1月より実施することにより事業者への事前の調達情報の提供を行った。

・調達担当者は、入札公告後において、電話を活用するなどして競争に参加できる可能性がある事業者に対する入札公告情報の提供に努めた。

### ③適切な仕様書の作成

・仕様書の作成にあたっては、業務遂行上必要最低限の機能や数値的条件等を提示することのほか、仕様書の記載不備・齟齬等が生じないように記載すべき項目・内容等についても例を用いる等、これまでの仕様書作成マニュアルを全面的に見直し、平成26年9月に職員への周知を行った。

・事業の実施方法等、事業者の提案を受けることでより良い事業の実施が可能となる「企画競争案件」については、可能な限り公募説明会を実施して関連情報を提供することに努め、事業者が事業規模等を把握するための現場説明会等も併せて実施した。

・適切な仕様書作成に資するため、調達請求者において、購入予定品の参考資料・参考見積を請求する業者の目安として利用されることを目的に、販売代理店とメーカーの販売委託関係を一覧整理した「納入実績リスト」を作成し、内部職員向けに所内イントラ上で平成23年10月より公開した。

### ④適切な事業期間の設定

・平成21年7月からの継続的な取り組みとして、役務等の契約において、落札日から履行開始までの間に必要な準備期間を落札した業者が確保できるよう、研究計画等に支障のない範囲で余裕を持った事業期間の設定に心がけた。具体的には、4月当初に履行開始となるような年間契約等で、人員や材料等の確保が事前に必要となる案件に関しては、3月初旬に契約を締結し、十分な準備期間を確保できるよう配慮した。

### ⑤その他

・契約監視委員会による点検結果については、全国会計担当者会議等で情報を共有し改善に努めた。また、契約監視委員会の点検結果を早期改善に導くため、平成24年度開催分からは、年度内2季において委員会を開催することとした。

・一般競争に係る入札書の提出期限を開札日の前日までとし、開札時まで応札参加者数が分からない手法を講じ、競争性の更なる確保に努めた。

・事業者の利便性向上を図るため、入札等参加に必要な書式(委任状、入札書、価格証明書、見積原価計算書等)を公式HPからダウンロード出来るよう、HPの内容の拡充を平成25年12月に実施した。

・競争参加の拡大の可能性があると認められる場合は、競争参加資格の拡大協議を行うこととし、平成25年11月開催の全国会計担当者会議で周知するとともに、以降において複数者応札による競争性の確保に努めた。

### [中期計画]

・産総研内「契約審査委員会」において、政府調達の適用を受けることとなる物品等又は特定役務の仕様書、契約方式、技術審査等に関する審査を行っているが、第3期中期計画期間においては、審査対象範囲の拡大や審査内容の拡充に関する新たな取り組みを行う。

### [中期実績]



・つくばセンター各事業所の契約担当職毎に契約審査委員会を設置し、政府調達協定の対象となる契約案件を適切に把握し、調達スケジュール・契約方式の法令への適合性、仕様内容の技術審査を厳正に審査した。  
・また、地域センターの契約案件については、前年度の契約件数の上位一割の案件が対象となる金額まで対象の基準額を引き下げることにより、審査対象範囲を拡大し、契約審査役による書面審査を平成 25 年 11 月より実施した。(審査件数 54 件)

[中期計画]

・また、契約審査体制のより一層の厳格化を図るため、法人外部から採用する技術の専門家を契約審査に関与させ、調達請求者が要求する仕様内容・調達手段についての技術的妥当性の検討を充実強化する。

[中期実績]

・契約審査体制のより一層の厳格化を図るため、民間企業での技術的な専門知識を有する契約審査役を 4 名採用し、請求者が要求する仕様内容・調達手続について、必要最低限の仕様や条件となっているか等を厳正に審査することとし、審査の強化を図った。

・また、契約審査役による指導・助言等を通して、仕様書の質の向上を図ると共に、事業所及び地域センター間で仕様書の標準化を図る取り組みを行った。(審査件数 661 件)

・契約審査委員会のうち、地域センターで開催される案件については、平成 24 年 12 月より TV 会議システムを通じて出席すると共に、北海道センター、臨海副都心センター、中部センター、関西センター及び中国センターで行われた一部の契約案件について、現地で委員会に出席し、契約審査に係る着眼点等の指導・助言を行った。

## 2. 研究活動の高度化のための取組

### (1) 研究組織及び事業の機動的な見直し、外部からの研究評価の充実

[中期目標]

・外部からの研究評価の結果等を踏まえ、研究組織の改廃等を機動的に実施する。また、研究評価の充実に向け、評価者が研究内容を適切に把握できるように、研究者との意見交換等の機会を拡大する。

[中期計画]

・外部からの評価結果や社会的ニーズ等を踏まえ、研究領域ごとに戦略的、効果的に研究を遂行するため、機動的に組織体制の見直し、組織の改廃や新設を行う。

[中期実績]

・外部委員の評価の強化のため、産業化の経営的視点及び社会的視点の委員割合を 6 割程度以上とするとともに、委員数を増やした。

・研究ユニット評価の外部委員による評価結果や指摘事項を踏まえ、「研究ユニット活動総括・提言委員会」で審議を行い、研究及び組織のあり方等のとりまとめを実施した。

・時限的・集中的な重要テーマに取り組む「研究センター」、中長期戦略に基づき継続的テーマに取り組む「研究部門」、研究センター化を目指して分野融合性の高いテーマ等に機動的・時限的に取り組む「研究ラボ」をそれぞれ研究ユニットとして配置した。社会情勢の変化や政策的要請を鑑みると共に、研究ユニット評価の結果を反映することにより、機動的な組織改廃を戦略的に実施してきた。

第 4 期中長計画期間に向けて研究推進体制を強化するため、第 3 期における研究推進体制を一新し、研究ユニットを束ねる組織として新たに 7 領域を設置し、その下に 27 研究部門、12 研究センターを配置する体制とすることを決定した。

[中期計画]

・実用化や製品化までの研究開発期間の短縮を図るためにも、自前主義にとらわれることなく、共同研究等により、海外を含め大学、他の研究機関や民間企業等の人材、知見、ノウハウ等をより積極的に活用する。

[中期実績]

・産業界とのコミュニケーションを促進するための、外部との意見交換を行う場として「産総研オープンラボ」を開催し(平成 22~25 年度、来場者延べ 17,684 名)、企業の産総研技術シーズへの理解を深めた。さらに、平成 26 年度からは、特に経営層を対象とした「テクノブリッジ事業」を新たに開始し、企業とのより密接な連携

の構築を図った。そのほか、産学官連携推進会議や科学・技術フェスタ等の外部イベントへの出展等を行い、産総研の技術シーズを国内外に発信した。

[中期目標]

・「産総研研究戦略」を策定し、研究の重点分野、政策との関係、他の機関との連携強化のための取組等を明らかにし、研究成果の目標等を具体的かつ定量的に示す。

[中期計画]

・産総研が取り組む必要がある研究開発について、政策との関係や他との連携強化に実効的な措置や取組を明らかにしつつ、経済産業省の関係課室と意見交換を行いながら具体的な技術目標を明示した「産総研研究戦略」を策定し実行する。その際、更なる選択と集中を図り、実用化や製品化という目標を明確に設定した研究開発への重点化を図る。

[中期実績]

・第3期中期目標期間を通じた「産総研研究戦略」を策定し、期間中も研究の進捗、産業ニーズの変化、産業界の意見等を踏まえて随時戦略の見直しを行った。第3期の研究は研究戦略に沿って行われ、特段の成果を挙げた(詳細は各研究項目に記載)ほか、次期中長期における研究開発に繋がる成果を得た。

・イノベーション推進本部においては、「産総研研究戦略」における研究支援の在り方、連携の方策、研究成果の社会への還元の在り方、人材の育成等について、成果活用人材育成研修の充実(平成23年度～平成26年度まで、計41回実施)、オープンイノベーションハブとしてのつくばイノベーションアリーナナノテクノロジー拠点の整備(平成24年度、TIA連携棟の建設)、知財ポリシーの見直し(平成26年11月より不実施補償の廃止)、技術コンサルティング制度の創設等、PDCAサイクルで推進した。

[中期計画]

・萌芽的な基礎的研究についても一定の関与をしつつ、産業変革を促すような革新的、独創的な研究課題を実施する形で重点化を図り「産総研研究戦略」に位置づける。

[中期実績]

・「産総研研究戦略」の中で、産業変革を促すような革新的、独創的な研究課題を明確に提示するとともに、戦略予算による重点課題として実施した。また、オープンラボやシンポジウム等のイベントにおいて成果を発信してプレゼンスの向上に努めるとともに、産業界とのコミュニケーションを通じて社会・政策ニーズの把握に努めた。特に、産総研の「看板」であるグリーン・テクノロジーとライフ・テクノロジーで、我が国産業界をリードする世界最高水準の研究開発成果の創出を目指し、産総研戦略的融合研究事業(STAR)を創設し、「高電力効率大規模データ処理イニシアティブ」(IMPULSE)と「革新的創薬推進エンジン開発プログラム」(LEAD)の2テーマを実施した。

[中期目標]

・地域センター、産総研イノベーションスクール、専門技術者育成事業、ベンチャー開発センターについては、その成果について確認を行い、最大限の効果が得られるよう改善する。

[中期計画]

・「I.2.(1)地域経済の競争力を支える最高水準の研究開発」において掲げた地域センターの取り組みの成果に関しては検証を行い、第3期計画期間中にその検証結果を公開するとともに、検証の結果を踏まえて各地域センターが一様に同一の機能を担うことを前提とせず、各地域センターの所在する地域の特性に応じて各地域センターが果たす機能の大胆な見直しを行い、産総研の研究開発戦略における地域センターの役割を検討する。具体的には、地域センターが有している、地域特性を活かした技術開発や地域における科学技術拠点群形成のための先端研究開発等の活動により発揮される研究機能と地域産業政策や地域産学官をつなぐ活動により発揮される地域連携機能を活かした取り組みについて、地域産業への技術移転、成果普及を通じて地域産業の振興や新産業の創出に寄与、貢献しているか、あるいはそれらが確実に見込まれる状況になっているか、地域の大学及び企業等を巻き込んで産学官の緊密な連携やオープンイノベーションの推進を実現できているか、大学と企業をつなぐ役割や地域の中小企業等の技術開発や製品化の取り組みに寄与、貢献しているか、といった視点から総合的に検証し、その検証結果を踏まえて各地域センターが有する研究機能と連携機能を発揮する活動とリソース配分の見直しを行い、地域活性化の中核としての機能強化を図る。

また、地域センターに所属する事業所及びサイトについては、研究機能と連携機能の観点から、共同研究等の設立目的終了時又は利活用状況が低下した時点において、その事業の必要性を検証し、不要と判断された場合は速やかに閉鎖する。

[中期実績]

・地域センターは、各地域の特徴を活かした分野において、地域の関係諸機関(行政や大学、公設試等)と意見交換をしながら第3期の事業展開計画(地域事業計画)を策定するとともに、その中で地域の諸機関と役割分担をしつつ地域に対して地域産業を活性化するための事業プラン(地域イノベーションプラン)を策定し、第3期期間中にその事業を推進することとした。

地域事業計画、地域イノベーションプランの実現を支援するため、本部では各種の支援事業を展開することとし、イノベーション推進本部内に地域戦略室を新設した。また、平成 25 年度には地域センター活動検証委員会を設置し、内部、外部有識者及び地域のステークホルダーからの意見聴取等を行い、地域センターの活動について検証を行った。その結果、研究・連携機能の特徴・方向性に応じた地域センターの類型分け(政策先導型、戦略産業強化型)、域内の特徴に合わせた研究開発とオール産総研での地域貢献に向けた研究機能と連携機能の両立、地域センター所長の裁量権の拡大等による内部マネジメント強化などの活動方針を策定した。この方針については、地域センター毎に産学官のステークホルダーへの説明会を開催し、検証結果と活動の方向性について説明し公開を行った。

具体的には、政策先導型として、臨海副都心センターはバイオ・IT融合、福島再生可能エネルギー研究所は再生可能エネルギー。戦略産業強化型として北海道センターはバイオものづくり、東北センターは化学ものづくり、中部センターは機能部材、関西センターは電池技術、医療技術、中国センターはバイオマス利用技術、四国センターはヘルスケア、九州センターは製造プラント診断に分類化及び重点分野化を行った。主な成果は次のとおり。

1)北海道センター:バイオものづくり技術では、平成 19 年に竣工した完全密閉型遺伝子組換え植物工場を用いて生産したイヌインターフェロン含有イチゴについて、臨床試験を進めると共に、北海道の共同研究先企業が薬事申請を行い、製品化を進めた。その結果、平成 25 年 10 月に薬事法における製造販売承認を得、平成 26 年 3 月に販売を開始した。北海道センターの重点分野が地域企業の活性化として結実したものであると共に、植物体そのものを用いた医薬品原材料生産の世界初の例である。平成 25 年からスタートした北海道独自の北海道食品機能性表示制度(北海道フード・コンプレックス国際戦略総合特区)で、北海道科学技術総合振興センター(ノーステック財団)と連携して、産総研技術である核内受容体アッセイにより機能性評価の技術で貢献し、北海道内企業に提供した。その結果、機能性タマネギの新品種は、ヒト介入試験を経て大手商社より販売されることとなった。

2)東北センター:VOC 排出量第 1 位(30%以上)を占める塗装業界に有機溶媒塗装に替わる CO<sub>2</sub> 塗装技術を宮城県中小企業、宮城県産業技術総合センターと共同開発し、VOC を 1/3 に、乾燥エネルギーを 1/2 に削減できることを示した。応用先として携帯電話のボタンから始まり、自動車部品に展開、さらに自動車や建設機械のボディへの大面積塗装の研究開発を大手企業、宮城県中小企業と共に実施した。また、ガasket への焼き付き防止粘土コーティングでは約 1 億円の売上げに結びついており、粘土膜技術により、水蒸気バリア用粘土(福島県企業)、不燃透明材(宮城県)、玉虫塗ハードコート(宮城県)、放熱伝熱材料(兵庫県)、防曇塗料(東京都)、電気絶縁材(兵庫県・大阪府)、エンジン用ガasket(大阪府)の製品化にも成功した。

3)臨海副都心センター:第 3 期の課題であるバイオ・IT 融合研究を推進した。特に、ライフサイエンス分野において、目的基礎研究段階から「創薬促進」を目指した製品化の段階に向けて着実に進展した。特に「バイオテクノロジー作業ロボット開発」においては、企業との共同研究により、高精度動作の双腕ロボット「まほろシステム」の開発に成功し、大学、国内大手製薬会社及び公的研究機関に合計 7 台導入された。この成果により内閣府の平成 26 年度産学官連携功労者賞を受賞した。「ゲノム情報に関わる独自の技術を用いた創薬促進」においては、次世代シーケンサデータを世界最高の精度で出すことが可能なソフトウェアを開発し、公開した。「創薬促進イノベーションハブ形成」を継続して行い、連携相手を増やすことにより創薬に関する最高水準の研究実施とその普及に貢献した。9 社、14 大学、6 研究所等と連携を進め、治験に至る薬効を高める手法を共同開発した。

4)中部センター:次世代自動車関連研究などで材料メーカー等と連携を進め、4つの技術研究組合「ファインセラミックス技術研究組合」、「高効率モーター用磁性材料技術研究組合」、「革新的新構造材料技術研究組合」と「未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合」を中部センターで実施するに至った。「炭素繊維強化プラスチック(CFRP)」について、名古屋大学ナショナルコンポジットセンター(NCC)が国から受託する炭素織

維複合材料開発プロジェクトより再委託を受け、NCC の試料について材料評価を実施した。また、CFRP 加工に向けて開発した WC-FeAl 超硬工具の性能評価に中部地区の公設試7所によるラウンドロビン試験を実施し普及を図った。ペアガラスを必要としないガスクロミック調光ミラーと市販の LPG カセットボンベを使ったハンディ燃料電池システムの試作に成功し、地域企業との共同研究に繋がった。

5)関西センター:蓄電池関係では、世界トップレベルの研究成果を出すと共に、RISING 事業、技術研究組合を通じて、主要な国内電池メーカー・材料メーカーと共に蓄電池拠点を確立した。その中で、リチウムイオン電池用の耐熱性バインダーや高容量水素吸蔵合金による新型ニッケル水素電池の製品化を実現した。バイオ医薬関係では、バイオ医薬産業育成を目指して、北海道センター、つくばセンターと連携し、核酸安定化技術を開発すると共に、関西地区の製薬メーカーに大量製造技術を移転した。関西センターが運営する分子複合医薬研究会をきっかけとし、経産省地域イノベーション創出実証研究補助事業、NEDO イノベーション実用化ベンチャー支援事業でのプロジェクト化に結びついた。組込システム関連では、クラスターコンピュータ(さつき)を用いた検証研究、組込みシステム産業振興機構との連携活動を通して、技術移転(情報開示)2件、組込みソフトウェア開発の品質向上等を目的とする共同研究 19 件、技術の標準化(OMG) 1 件(進行中)の実績を挙げた。

6)中国センター:木質系バイオマスから直接的に幅 20nm 程度のセルロースナノファイバーを製造できる基盤技術として「水熱メカノケミカル処理技術」を開発し、連携企業においてナノファイバーを 90%以上の収率で製造できる微粉碎装置の開発に繋がった。企業において製造されたナノファイバーは多数の企業へ提供され、実地的なナノファイバー製造技術が確立された。ナノファイバーの複合化技術では、基盤技術としてマスターバッチ法の有効性を実証し、連携企業においてナノファイバー複合化製品を実際の成形設備を用いて数千個の単位で製造するなど、ナノファイバー複合化材料の製造技術を確立した。さらに、セルロースナノファイバーや複合材料の物性評価技術を確立した。共同研究・研究協力を通じて、これらの技術を企業や大学等の研究機関等におけるナノファイバー製造・複合化技術の高度化や実地的な樹脂系・ゴム系複合材料開発へ発展させ、共同特許出願に繋がった。さらに、これらの技術を基盤としてナノファイバー複合材料の製品を企業において試作した。また、ナノファイバー製造工程で得られる高規格木粉の自動車用部材への応用に関して共同研究を行い、自動車用部品として実用化に繋がった。

7)四国センター:マラリア迅速診断用細胞チップを開発し、日本企業と共同で診断装置の製品化を実施した。また、アフリカの医療機関と日本企業と共同で実証試験を実施し、普及の鍵となるWHOマラリアリポート掲載に必要な 500 件のデータのうち約 100 件を蓄積した。糖尿病の耐糖能およびインスリン抵抗性リスクを健康診断時でも判定できる独自の脂質酸化ストレスマーカーおよびレプチン、アディポネクチン等のバイオマーカー群を見出した。社会での認知を深めるべく、大学病院、市中病院と検証試験を実施し、十分な精度で判別できることを示した。地元企業との連携では、産総研の遺伝子組換え酵母技術を活用した共同研究により、「廃棄うどん」を原料としたバイオエタノール生産技術を開発し事業化に繋がった。また、食品の機能性評価法として、生物発光酵素の遺伝子を導入した細胞を用いる方法を開発し、公設試に技術移転して評価結果を地元企業に通知し、食品の高付加価値化に貢献した。

8)九州センター:半導体関連マイスター型連携課題では、連携企業との共同研究により、LSI 生産過程で生じる潜傷の検出技術を装置化し、企業の量産現場に導入してインライン全数検査を実現した。太陽電池モジュール開発・評価の研究では、長期屋外曝露モジュールと屋内加速試験後のモジュールの対比により、高温高湿(温度 85°C湿度 85%)試験 4000 時間が屋外曝露 30 年に相当することを明らかにした。これにより得られたモジュール設計指針に基づいて試作したモジュールが、現行の認証試験の 15 倍も厳しい試験後も劣化を呈さないことを実証した。平成 25 年度に実施した地域企業との共同研究により、肥育牛脂肪交雑の自動判定を行う実用モデルを完成し、当該企業が国内大手企業へ OEM 供給を開始した。平成 23 年度までに構築した各種水素材料に関するデータベースを安全性確保のための基本データとして(平成 26 年 7 月までに)産業界へ 750 件提供し、高圧水素規制の見直し作業に活用するとともに、国際標準への日本提案の科学的根拠として活用して国内自動車産業界の標準化対応に貢献するなど、安心・安全と経済性が両立する水素社会の実現に向けた取り組みに貢献した。窒化アルミニウムへの第 3 元素添加による圧電特性の改善に成功し、携帯端末機器用の次世代電子部品材料として技術移転を行った。

#### [中期計画]

・産総研イノベーションスクール(平成 20 年度開始)及び専門技術者育成事業(平成 17 年度開始)については、第 3 期中期目標期間中において、育成期間終了後の進路等、育成人材の追跡調査等によって成果を把

握して、現行の事業の有効性を検証し、その継続の要否も含めた見直しを行うものとする。

#### [中期実績]

- ・産総研イノベーションスクールにおいては、制度の効果を検証するために、養成修了者の進路の追跡調査を実施した。第1期から第7期生までのポストコース(PD生)235名の育成効果として、修了生の約75%が、民間企業、大学や公的研究機関等に正規就業しており、特に、修了生の約40%が民間企業に就業しているなど、成果を挙げている。運営諮問委員会等の外部委員からは、育成効果の有効性を認めつつも取り組みの規模が指摘されており、今後、現在の取り組みを継続しつつ、所内的には研究領域毎の人材育成事業、所外的には週末のフォーラム事業等により、所内外に蓄積したノウハウを展開して育成規模を拡大する検討を行った。
- ・専門技術者育成事業においては、平成24年度末までに育成期間を終了した対象者は207名で、のべ462の資格を取得し、大学や研究所への就職率はほぼ6割に達した。高い技術レベルを持った専門技術者を育成するという当初目的にそった成果が得られたため本事業は平成24年度をもって終了した。

#### [中期計画]

- ・ベンチャー開発センターについては、第3期中期目標期間中において、創出ベンチャー企業の業績や動向を把握し、それまでの取組における成果及び問題点並びに制度上のあい路等を厳格に検証し、その結果を公表するとともに、当該検証結果を踏まえ、事業の存続の要否も含めた見直しを行う。具体的には、産総研開発ベンチャーの創出、育成及び支援に関する施策について、創出企業が成功に至った例、失敗した例の両方について、技術シーズ発掘からビジネスプラン策定や検証を経て創業に至るまでの過程における各施策の有効性について検証し、検証結果を踏まえた見直しを行うとともに、有効性の高いものと認められ引き続き実施する施策については外部の研究開発機関等へ知見やノウハウを広く公開、共有する。

#### [中期実績]

- ・規程を整備した上で、検証委員会を開催した。スタートアップ開発戦略タスクフォース(以下、「TF」と略記)等の実施施策に相応の効果が認められるとの結果を得た。さらに、マーケットインの発想を広げ、戦略的にイノベーション創出を目指すべきであるとの指摘を受け、有望な産総研技術移転ベンチャー及びTFを部署横断的に支援する「AIST ハンズオン支援チーム(AIST-HOST)」を立ち上げる等ベンチャー関連事業の見直しを実施した。検証結果はベンチャー開発成果報告会、ベンチャーフォーラムにおいて広く公表するとともに、委員会より提出のあった報告書を公式HPに掲載した。また、NEDOプラットフォーム事業の構築に際し、知見やノウハウを公開、共有した。

#### [中期計画]

- ・研究評価の質を向上するため、現場見学会の開催や事前説明等の充実により、評価者が評価対象を把握、理解する機会を拡大する。

#### [中期実績]

- ・評価委員会での評価資料の説明とその質疑以外に、現場見学会及びポスターセッションを実施することにより、評価委員が評価対象の把握や理解を深めるための機会を充実させた。
- ・外部委員が評価対象を把握、理解する機会を拡大するために研究ユニットが主体となり、委員会形式、シンポジウム、研究現場見学会を通じた意見交換、成果の情報提供を実施した。
- ・外部委員には、産総研におけるミッション、体制、当該研究ユニットの位置付け、評価システムの事前説明を行った。
- ・前回評価時の指摘事項への対応状況を評価資料に記載し説明する等の質の向上を図った。
- ・評価に資するデータ一覧表に、共通項目及び研究ユニットが独自に定める任意項目を設け、必要な情報をより的確に提供するとともに、産総研及び研究ユニットの広報誌等を郵送することにより、研究ユニットの活動をより詳細に把握できるようにした。

#### [中期計画]

- ・産総研ミッションに即した、より客観的かつ適切な評価軸へ見直しを行い、アウトカムの視点からの評価を充実させる。また、研究成果創出の最大化ならびに成果の社会還元につなげるため、PDCAサイクルによる継続的な自己改革へ評価結果を適切に反映させる。

#### [中期実績]

- ・評価委員に対して、研究ユニット評価において、ベンチマークやポートフォリオなどを活用して、研究成果の国内外における優位性を示すこと等により、達成水準について、より適切な評価を可能にした。
- ・イノベーションの創出に資することを重視した「アウトカム視点からの評価」を継続し、アウトプットのアウトカム実現への寄与を評価軸とした。
- ・新たに「イノベーション推進への取り組み」を評価項目として加え、研究開発だけでなく、研究成果の社会還元につながる取り組みを評価した。
- ・評価結果のとりまとめを迅速に行い、経営層及び関係部署に報告した。更に、研究ユニット評価での指摘事項の確認とその対応を充実させるため研究ユニットと評価部との意見交換を実施した。
- ・研究ユニット評価委員会に、関連する他の研究ユニット長等が出席することで、評価の効果的な活用を図った。
- ・国内外の評価関連学会やセミナーへの参加等を通じて、評価システムに関する調査及び情報収集を行った。
- ・第3期中期目標達成状況について、研究ユニットによる自己点検結果を参考にした評価を実施した。
- ・評価におけるセキュリティ向上及び業務の効率化のため、評価コメント及び評点を Web で入力する「評価委員評価情報システム」の運用を開始した。
- ・「第3期研究関連等業務評価の基本方針」を策定し、イノベーション推進、産業人材育成等に係わる業務及び地域活性化に係わる業務に対する活動について、国民に対して提供するサービスの質の向上等の観点から評価を実施した。

#### [中期計画]

- ・平成22年度末までに秋葉原事業所を廃止し、職員の配置を見直すとともに、業務の効率化を図る。

#### [中期実績]

- ・平成23年2月28日に秋葉原支所(旧事業所)を廃止した。職員をつくばに再配置することで業務の集約化、効率化を図った。

## (2) 研究機器や設備の効率的な整備と活用

#### [中期目標]

- ・新たな事業所等の設置等については、その必要性や経費の節減に十分配慮する。

#### [中期計画]

- ・新たな事業所やサイト等の研究拠点を設置する場合は、現状の基幹設備状況や拠点設備等の汎用性を踏まえるとともに、省エネルギーの推進、類似の研究領域に係る施設を極力近接して配置するなど経済性、効率性を考慮した施設整備に努める。研究開発の進捗状況に応じて、無駄なく必要な研究スペース等を確保するものとする。また、研究開発の終了時には、施設の有効活用のための検討を行い、その上で施設の廃止又は不用資産の処分が適切と判断された場合は速やかに実施する。

#### [中期実績]

- ・平成23年度3次補正予算で、福島再生可能エネルギー研究所の拠点整備を実施した。土地選定に際しては、屋外の試験スペースの確保など拡張性に配慮し、施設整備に際しては、汎用性のある標準的な実験室の整備や設備更新性に配慮するなど、経済性、効率性を考慮した施設整備を実施した。
- ・研究開発を終了した中部センター瀬戸サイト(愛知県瀬戸市)の土地及び建物を国庫返納した。
- また、研究開発を終了した建物について、スペース有効活用審査委員会の審査を経た上で、72棟 30,598㎡の閉鎖を実施し、閉鎖決定された建物について、47棟 15,344㎡の解体撤去を完了した。

#### [中期目標]

- ・研究機器や設備の配置の機動的見直し、外部の者への利用機会の拡大を進める。

#### [中期計画]

- ・産総研が保有する研究人材及び研究開発で活用する最先端の研究機器、設備等を社会と共有するための拠点(先端機器共用イノベーションプラットフォーム)の体制整備を行うとともに公開設備の範囲の拡大を行う。

#### [中期実績]

・産総研が保有する最先端の共用施設を外部機関が利用しやすいように、利用手続き等を行いやすくした新たな制度を整備し実施した。新制度は、まずはスーパークリーンルーム(SCR)から運営を開始し、運営上に発生する課題などを解消しつつ、その後 ANCF と CRAVITY、NPF と GreFON、N-MEMS と BRP と 7 施設へ運営を拡大した。また、新しい共用施設管理システムの構築を行い、装置・施設の外部公開を統一的に行う体制を確立した。

### 3. 職員が能力を最大限発揮するための取組

#### (1) 女性や外国人を含む優秀かつ多様な人材の確保及び育成

##### [中期目標]

・中長期的な人材の確保及び育成に関する人事戦略を新たに策定する。橋渡し研究等を効果的に実施するため、技術マネージャーの育成など多様なキャリアパスを確立する。

##### [中期計画]

・研究職については、研究活動に活力を与える任期付研究職員制度を持続的に発展させるために、多様な人材の確保に配慮しつつ、若手研究員の採用を促進する新たな制度を導入するなど、採用制度の見直しを行う。

##### [中期実績]

・優秀な若手研究者の確保のため、博士課程修了予定者の就職活動時期に合わせて、審査時期を早期化し、審査基準を実績重視から将来の資質重視に見直しを行った。これにより、期首平成 22 年度において採用者平均年齢 32 歳、採用者数 55 名であったものが、期末平成 26 年度において採用者平均年齢 30.9 歳、採用者数 65 名へと採用年齢の低下と、採用者数増加の実績を得た。また、任期付期間中の育成を強化するため、研修制度の拡充を図った。さらに、第 4 期においても若手研究員の採用を促進するため、応募者の実績・能力に応じて、適宜パーマネント型での採用を可能とするフレキシブルな制度設計を行うとともに、任期付年俸制の導入を決定するなど、採用制度の見直しを行った。

##### [中期計画]

・事務職については、産総研で求める人物像及び専門性を明確にした上で採用活動を実施し、優秀な人材確保に努める。また、特別な専門知識を必要とする特定の業務については、民間経験等を有する者の中途採用を積極的に推進する。

##### [中期実績]

・事務職員の採用は、産総研で求める人物像及び専門性を勘案し、幅広い業務を行う試験採用による総合職と、特別な専門知識を必要とする者に加え、定型業務に高い実務能力を持つ者を採用することとして、これらの類型に拠って 3 タイプの採用を行った。

・優れた人材を確保するため、各種就職説明会へ積極的に参加し応募に繋がる採用活動を実施した。

・多様な人材の確保のため、平成 26 年度新卒採用者試験を、従来の筆記試験と面接試験からなる選考方法から、面接試験に重点を置く選考方法に変更した。

・専門知識を必要とする部署に配属させる者として、当該業務の経験が豊富で即戦力となる者の採用を計画的に行った。

・契約職員等から定型業務について実務能力の高い者を地域型任期付職員として積極的に登用した。

##### [中期目標]

・女性研究者の比率を高めるとともに、外国人研究者の受入れを進める。また、定年により産総研を退職する人材の活用を図る。

##### [中期計画]

・定年により産総研を退職する人材については、関係法令を踏まえて、第 2 期に引き続き再雇用を行っていく。

##### [中期実績]

・高齢者等の雇用の安定等に関する法律を踏まえ、シニアスタッフ制度を活用して定年により退職する人材の再雇用を行った。各部署からの求人とシニアスタッフを希望する者の豊富な経験が生きる適切なマッチン

グを行い本人のモチベーション維持と組織のパフォーマンス向上に努めた。

・また、研究業績の著しい者、研究を継続する必要がある者は、所属した研究ユニットで引き続き雇用することを認める等、弾力的な運用を行った。

#### [中期計画]

・人材の競争性、流動性、及び多様性をより一層高めるとともに、最適な研究者の構成、知財戦略の推進やベンチャー創出あるいは研究マネジメント等の分野における専門的な人材の活用を図るため、第3期中期目標期間において、第2期中期目標期間にまとめた人材開発戦略会議の報告の内容を具体化しつつ、新たな中長期的な人事戦略としてまとめる。また、それに応じた人事システム、研究者の評価システムやキャリアパスの見直しを行うものとする。

#### [中期実績]

・平成22年度から、中長期的な人事戦略の策定に向けた検討を行い、平成24年度に「産総研の研究開発業務の一層の推進のための業務運営体制の改善について(中間とりまとめ)」を同年6月21日付で理事会決定し、下記措置を実施した。

- 1) 研究推進組織における研究職員の役職等の見直し
- 2) 専門的な業務を担う人材の確保
- 3) 管理職員の明確化
- 4) 事務職員に係る役職定年制の実施
- 5) 事務系契約職員等に対する職員登用

・平成26年4月から産総研が行う研究開発プロジェクトに優秀な学生の参画を促進するため、技術研修員のうちの大学院生をリサーチアシスタントとし雇用する制度を創設した。

・優れた技術シーズと人材を取り込むため、平成26年11月1日より、複数の機関で同時に研究等に従事することを可能とするクロスアポイントメント制度を導入した。

・第4期中期計画より、任期付職員における年俸制を導入すべく、制度設計などの準備を行った。

#### [中期計画]

・男女や国籍などの別にかかわらず個人の能力を存分に発揮できる環境の実現を目指し、共同参画を推進する。研究系の全採用者に占める女性の比率について第3期中期目標期間終了時まで第2期実績を上回る15%以上を確保し、更なる向上を目指す。また、外国人研究者の採用については、研究セキュリティをはじめコンプライアンスの観点に留意しつつ、積極的な採用に努める。

#### [中期実績]

・第2期中期目標期間の男女共同参画の取り組みの効果を分析し、第3期中期目標期間の課題を整理して、具体的なアクションプランを盛り込んだダイバーシティ推進策を策定した。

・ワーク・ライフ・バランス支援として、介護に対する職員の高い関心に応えるため、介護に関する勉強会やセミナーを毎年度開催した。セミナー時のアンケート調査や、育児や介護に関連する休暇および年次有給休暇の分析により、要望や問題点を明らかにした。平成24年度には、育児特別休暇を時間単位で取得できるように制度を改善した。平成26年度には、新たに産総研「第3回次世代育成支援行動計画」を策定し、目標のひとつとして介護に関する項目を設けた。また、産総研の育児介護支援に関し、次世代育成支援認定マーク「くるみん」と、仕事と介護を両立できる職場環境の整備促進のためのシンボルマーク「トモニ」を取得した。

・キャリア形成支援として、ロールモデル懇談会や特別シンポジウムを開催した。第2期では女性研究者を対象としていたが、対象を職員全体に拡大し、女性事務職のための交流会や、若手研究者のキャリア形成に向けたセミナーの開催等、産総研職員の多様なキャリア形成に対応する支援を行った。外部の専門カウンセラー2名を配置し、キャリアカウンセリングを実施した。

・多様性活用(ダイバーシティ)意識の啓発及び浸透のために、ユニット長研修、副ユニット長研修において、ダイバーシティの重要性を講義の内容に盛り込むとともに、グループ長等研修、中堅研究職員研修、新人研修において、ダイバーシティに関する講義を実施した。また、ダイバーシティに関する職員向けセミナーやシンポジウムを開催した。平成26年度には、産総研初の女性理事を迎え、記者懇談会や広報誌「産総研 TODAY(3月号)」への情報提供を通じて、ダイバーシティの広報に努めた。

・女性研究職の積極的な採用を行うため、就職情報誌等への掲載や理工系女子を対象とした合同説明会へ参加して応募に繋がる活動を行った。



- ・第3期における研究系の全採用者に占める女性の比率について、目標とした第2期の実績(15%)を上回る16.7%を確保した。
- ・外国人研究者については、計画的な採用を行い毎年度5名程度の採用人数を維持した。
- ・外国人研究者採用拡大のため、平成22年度より産総研公式ホームページ英語版の研究者募集について、従来の1.5ヶ月から3ヶ月に公募期間を延長した。平成23年度には、イントラ上で育児等に関する英語での情報提供を開始した。平成24年度には、国外の人材採用に際しTV会議を活用した遠隔審査を導入した。また、産総研の社会的責任(SR)活動・環境活動を紹介する「産総研レポート」の英語版を新たに発行し、外国人研究者を対象としたコンテンツを拡充した。平成25年度には、外国人研究者に向けた業務手続マニュアル等を作成した。外国人研究者の活躍支援として、平成26年度には外国系研究グループ(チーム)長への言語支援および業務サポートのため事務職員を補強するとともに、AIST インターナショナルセンター(AIC)の事務室をアクセスの便利な地区へ移転し支援体制を強化した。
- ・つくば市の男女共同参画審議会に委員として参加し、市の男女共同参画推進基本計画の推進に協力した。男女共同参画推進のための外部機関との連携体であるダイバーシティ・サポート・オフィス(DSO)は、参加機関が計21機関に拡大した。会長機関として事務局を運営し、イベント開催、懇話会、メーリングリスト、ニューズレター等による情報共有を図った。

#### [中期計画]

・高度に専門化された研究職の能力向上に重要な要素は、意識啓発と優秀な研究マネージャによる指導であり、意識啓発や自己開発スキルに重点をおいた研修を契機として自己研鑽やOJTを通じた研究能力の一層の向上を図る。研究開発マネジメント能力を高めるためには、研修での意識啓発やスキル蓄積に加えて新たなキャリアを積極的に経験させるなどの取組を行う。

#### [中期実績]

- ・研究マネージャや中堅層の指導力向上を目指して、グループ長等研修、中堅研究職員研修に、リーダーシップ、コーチング等の研修を導入し、OJT等若手研究員育成の意識付けを行った。また、若手研究員初期研修については、研究職員に要求される技能や資質と研修の関係を整理し、平成24年度より5講座、5年間のプログラムに再編整備した。さらに、平成23年度から早期のキャリアデザイン及び意識啓発の機会として、中堅研究職員研修として45歳研修に加えて40歳研修を開始した。
- ・産総研フェローシップ制度、外部資金の活用により、産総研から46名を在外研究員として海外へ長期派遣し、国際競争力のある人材育成を推進した。【再掲(142010)】

#### [中期計画]

・研究支援業務における業務の専門性の深化に対応して、職員の専門性の蓄積を図るための研修(知財、ベンチャー、産学官、財務、能力開発など)やスキルアップのための研修(簿記、民法など)などを実施する。また、実際の産学官連携活動等の場での若手職員のOJTなど、産業界との連携を牽引できる人材育成の仕組みを構築し、産学官連携、国際標準化、知財管理等をマネージすることができる人材の育成に努める。

#### [中期実績]

- ・スキルアップの研修として、簿記、民法などととともに、英語論文書き方、学会発表、メール等実務英語など英語研修の充実を行った。
- ・さらに新規採用職員のOJTを充実させるため、OJTリーダー、指導者、新規採用職員の3者体制による育成、育成目標、育成計画の立案実施というOJTによる育成の仕組みを構築し、その内容についてOJTリーダー研修で周知啓蒙を行った。OJTの内容については、新規主査や室長・室長代理研修でも紹介することで、指導層への浸透も図った。
- ・専門性の高い事案の能力向上を目的に、財務、産学官連携、ベンチャー、イノベーション推進等の研修を実施した。平成23年度より、イノベーション推進企画部と協力して、特に知財、ベンチャー、産学官連携、国際標準等、イノベーションコーディネーター育成に必要な実務に関する研修を集め、「成果活用人材育成研修」を開始した。知識に精通した外部講師を招聘するなど研修内容の充実・向上を図った。
- ・プロフェッショナル研修として、財務会計、広報、簿記、英語研修など、個別業務に特化した受講者の専門性向上を目指した研修を実施した。平成23年度からは、イノベーション推進を担うイノベーションコーディネーターや連携主幹等の職員の専門性向上のために、研究成果の効果的な活用推進を目的とした成果活用人材育成研修を開始した。これらの研修と基礎力を向上させるための内部研修に対して、平成22年度は790名、

平成 23 年度は 892 名、平成 24 年度は 997 名、平成 25 年度は 433 名、平成 26 年度は 1,263 名の職員が研修を受講した。

#### [中期計画]

・複数の研究成果を統合して「製品化」につなげる人材の育成においては、職種の別なく広範な育成研修を実施し、意識啓発とスキルアップを図る。

#### [中期実績]

・「製品化」につなげる人材育成として、階層別研修では、若手職員、中堅職員、管理職層、それぞれの階層で意識付けを行う研修を実施した。若手向けには、若手研究職員育成プログラムにおいて、新規採用職員研修、若手研究員初期研修及びフォローアップ研修において、製品化につながる本格研究に対する講義あるいは実習を実施した。

・中堅職員に対しては、40 歳、45 歳の研究職員に対して、中堅研究職員研修Ⅰ及びⅡにおいて、企業での研究開発経験者および産総研内の企業連携を行っている研究者からの講義を行った。

・管理職層に対しては、ユニット長研修で「製品化」に向けた分野融合・連携促進を再認識するための研修を実施した。事務職と研究職とを一体とした研修を若手研究員・若手事務職員地域センター研修において実施し、地域センターにおける「製品化」を目指した産学官連携活動についての見学、講義、討論をおこない意識啓蒙を行った。

#### [中期計画]

・職員の専門性向上のため、内部での研修、外部への出向研修を積極的に実施し、毎年度 300 名以上の職員が研修を受講するよう努める。

#### [中期実績]

・内外の研修に対して、平成 22 年度は 842 名、平成 23 年度は 949 名、平成 24 年度は 1,047 名、平成 25 年度は 478 名、平成 26 年度は 1302 名の職員が研修を受講し、第 3 期中期計画中の年度あたりの平均受講者数 923 名となり、目標としていた受講者毎年度 300 名以上を達成した。

#### [中期計画]

・共同研究や技術研修の実施に伴う外部研究員の受け入れ及び産総研研究員の外部派遣などにより、外部人材との交流を通じた研究水準の向上及び研究成果の産業界への円滑な移転を推進するとともに、産業界や学会との人事交流並びに兼業も含む産総研からの人材の派遣等も実施する。

#### [中期実績]

・外部人材との交流を通じた研究水準の向上及び研究成果の産業界への円滑な移転のため、共同研究の派遣研究員(9,286 人)、外来研究員(6,337 人)、技術研修員(7,079 人)、技術研究組合のパートナー研究員(2,650 人)等の外部人材を積極的に受入れた。また、委員委嘱(17,655 人)、役員兼業(149 人)等の制度の活用に加え、新規の連携大学院協定の締結を行い、連携大学院制度に基づく教員委嘱(1,674 人)などにより、大学等への人材供給を推進し、効率的な成果移転に努めた。

・適切な兼業活動が行われるために、兼業申請を遅滞なく行うよう、注意喚起文を掲示するとともに、所内規程に照らした審査を行った。また、職員が適切な兼業申請を行えるよう、兼業システム上の画面を分かりやすく改善した。

・第 3 期中期計画からは、鉱工業の科学技術に関する研究又は開発を行う業務に業務に従事する場合には、無報酬であっても兼業許可を要することとし、利益相反の事前防止に努めた。

## (2) 職員の能力、職責及び実績の適切な評価

#### [中期目標]

・職員の評価について、研究活動のみならず、産総研のその他の業務への貢献等を適切に考慮する。

#### [中期計画]

・個人評価制度については、産総研のパフォーマンス向上に向けた職員の意欲を更に高めることを目的として、評価者と被評価者間のコミュニケーションを一層促進し、産総研ミッションを反映した中長期的視点を含んだ職員個々人の目標設定とその達成へのきめ細かな助言などを通じた効果的な活用を図る。研究活動のみ

ならず成果普及活動を含めた産総研のミッション実現への貢献度や、職務遂行能力等を発揮した研究や業務運営の円滑化への貢献度等をより適切に評価できるよう見直しを行う。

[中期実績]

・個人評価制度の次の見直しにより、効果的な活用を図った。

1) 短期評価においては、考課方式の変更(一次評価者と二次評価者の意思疎通の改善)、コンプライアンスへの取り組みの評価、中長期方針欄の新設、評価基準(ABCD)の明確化、業績手当査定方法の変更(副統括の査定の新設)を実施。

2) 長期評価においては、在級年数の整理、意向登録の変更、評価ポイント・成果例の改訂を実施した。

・短期評価の評価者研修を実施し、評価制度の理解、実務における対処能力の向上を図った。

・第4期に向け、産総研ミッションへの寄与により評価を行う等の個人評価制度の見直しを実施した。

[中期計画]

・職員の職種や業務の性格等を勘案した上で、個人評価結果を業績手当や昇格等に、より適切に反映させるよう適宜見直しを行うとともに、職責手当の見直しを含め、職員の能力、職責及び実績をこれまで以上に給与に適切に反映するように検討する。

[中期実績]

・平成24年6月21日付理事会決定文書「産総研の研究開発業務の一層の推進のための業務運営体制の改善について(中間とりまとめ)」に基づき、首席研究員、上級主任研究員、キャリア主幹(事務職員)の制度運用を開始し、職責の見直しを図った。

・業績手当の査定方法については、C評価の査定基準、副統括(本部組織は本部長)による査定の新設の改訂を行い、メリハリのある査定を推進した。

・長期評価のユニット長推薦制の導入、評価対象期間や在級年数の改正、昇格を伴わない長期評価(1級7年目、5級7年目)の廃止を実施した。

#### 4. 国民からの信頼の確保・向上

##### (1) コンプライアンスの推進

[中期目標]

・法令遵守を更に徹底するとともに、役職員のコンプライアンスに関する意識向上のための活動を通じ、産総研の社会的信頼性の維持及び向上を図る。

[中期計画]

・定期的な研修及びセルフチェック等の実施を通して、参加型コンプライアンスを推進し、役職員等の意識向上を図るとともに、リスク管理活動などの取組において、PDCAサイクルを有効に機能させることにより、全所的なコンプライアンスの徹底を図る。

[中期実績]

・役職員等一人一人の社会的責任、法令遵守に対する意識の向上を図るため、以下の取り組みを実施した。

① 新規採用職員、グループ長等及び研究ユニットの研究員等を対象にコンプライアンスに関する研修を実施した。

② 役職員等を対象としたコンプライアンスセルフチェックを実施した。

③ コンプライアンスに関する身近な事例を取り上げた「コンプラ便り」を定期的に発信した。

・研究不正の防止のため、「研究ミスコンダクトへの対応に関する規程」を見直すとともに、研究ノートの使用、管理体制を整備するための検討を行った。また「盗用」を防ぐ仕組みとして、文書類類似度判定ツールを導入し、運用を開始した。

・役職員等を対象として、利益相反に係る定期自己申告を実施し、利益相反上ヒアリングが必要と認められた者に対して外部カウンセラーによるヒアリングを実施した。

・コンプライアンス推進本部の体制の強化のため、平成26年7月に理事長を本部長とし、副理事長及び理事2名がリスクの区分に応じて補佐する体制を導入した。

・平成26年7月に、顕在化したリスク情報を現場から収集し、理事長にリスク事案の報告を行い、理事長が決定した対応方針を現場に実施させるという体制を整備した。また、役員間で連絡会を月1回程度開催し、リス

ク事案の情報共有を図った。

- ・研究センター及び研究部門等のリスク管理責任者等とリスク管理活動等に関する意見交換を行い、リスク管理に対する意識や取り組み状況の把握に努めた。
- ・つくばセンターにおける震度6強以上の大規模地震への対応として、「業務継続計画(BCP)」を平成 23 年 10 月に策定した。
- ・内部監査の実施については、監査の必要性の高い特定のテーマ(随意契約、情報管理、労働時間、物品管理、検収業務、立替払制度等)について書面及び実地による監査を実施するとともに、平成 26 年度においては、これまでの特定のテーマに加え、研究ユニット単位の包括的な監査を実施し、監査を通じて把握・取得した業務の実態及び客観的データを分析・評価することにより、当該業務の合規性、有効性及び効率性を把握するとともに課題等の抽出を行った。
- ・抽出した課題等について、監査対象部門が課題等を的確に把握し、改善に向けて主体的に取り組めるよう、監査対象部門との十分な意見交換を実施し、相互理解のもとに当該部門及び制度所管部署に対して改善提案等を行った。
- ・平成 25 年 10 月から内部監査が組織内で有効に機能するための重要な要件である「独立性と客観性の確保」を図るために、内部監査の実施部署である監査室について、コンプライアンス推進本部内の部署から理事長直下の部署に独立・再配置し、内部監査体制の更なる強化を行った。
- ・監事及び会計監査人と連携し、各監査業務の重複を避けるとともに、内部監査の品質向上を図るために、監事及び会計監査人と十分な意見交換等を行った。
- ・全所的なコンプライアンスの徹底を図るため、安全保障輸出管理について、部門等別に研修等を実施した。PDCA サイクルの見地から監査結果等を用いて、部門等を指導した。また、日常業務として個別の貨物の輸出や技術の提供に際しては、部門等との情報交換を密に行い、速やかな該非判定、取引審査を実施した。

[中期目標]

- ・国民の信頼確保の観点から、情報の公開及び個人情報保護に適正に対応する。

[中期計画]

- ・産総研の諸活動の社会への説明責任を的確に果たすため、保有する情報の提供の施策に関する充実を図るとともに、開示請求への適切かつ迅速な対応を行う。また、個人の権利、利益を保護するため、産総研における個人情報の適正な取扱いをより一層推進するとともに、個人情報の開示請求等に適切かつ迅速に対応する。情報セキュリティポリシーの適正な運用を継続維持し、セキュリティや利便性の高いシステムの構築を目指す。

[中期実績]

- ・法令に基づく情報掲載については、公式ホームページを活用し、新たに公表が求められた事項(公益法人への支出)について追加を行うとともに、確実に最新情報を参照できるリンクの見直しを行った。
- ・開示請求及び問い合わせ等に対しては、請求対象となった法人文書(保有個人情報)を管理する部署等の管理者と法令等に則り、適切な開示を行った。
- ・個人情報の適切な取扱いを推進するため、新規採用職員研修においては、文書管理、情報公開・個人情報保護及び情報セキュリティの観点も加えた資料で研修を実施した。また職員等の個人情報の適切な取扱いを推進するため、e-learning 資料の改訂を行った。
- ・産総研の役職員が情報セキュリティポリシーに関する理解を深め、情報セキュリティ対策を適切に実践できるようにするため、情報セキュリティ研修を継続的に実施した。また、次世代ファイアウォール、不正通信を監視するセキュリティ監視サービス、スパムメール対策を強化したメールシステムの導入に加え、産総研ネットワークに繋がる PC にウイルス対策ソフトを導入し、集中管理することにより、情報セキュリティレベルの向上と利便性の向上を両立させた。

## (2)安全衛生及び周辺環境への配慮

[中期目標]

- ・事故及び災害の未然防止等の安全確保策を推進するとともに、職員の健康に配慮することにより、職員が安心して職務に専念できる職場環境づくりを進める。

[中期計画]

・事故及び災害等の発生を未然に防止するため、PDCA サイクルによる継続的な安全管理活動を推進するとともに、安全衛生管理体制の維持強化を図り、業務を安全かつ円滑に遂行できる快適な職場環境づくりを進める。

[中期実績]

・毎朝、管理監・地域センター所長等による安全報告会を開催し、所内で発生した事故・ヒヤリハット情報、それらの分析結果及び再発防止策等の共有を図った。  
・危険薬品又は高圧ガスを取り扱う全職員に対して所内安全研修の受講を義務付ける共に、一定量以上の取扱者に対しては法定資格の取得を義務化した。  
・ライフサイエンス実験についての委員会審査や教育訓練、実地調査、放射線取扱者への講習等を通し、安全管理や法令遵守を指導・監督するとともに、放射線関連施設の集約化を進め、より安全な実験環境を整備した。

[中期目標]

・研究活動に伴い周辺環境に影響が生じないよう、適切な対応を進めるとともに、エネルギーの有効利用の促進に取り組む。

[中期計画]

・研究活動に伴い周辺環境に影響が生じないよう、PDCA サイクルによる環境配慮活動を推進するとともに、活動の成果等を環境報告書として取りまとめ毎年公表する。

[中期実績]

・「環境安全マネジメントシステム」の運用を推進し、特に、環境負荷が大きい環境事故の対策の強化を図り、平成 23 年度以降毎年、有害物質の漏えい・流出を想定した緊急事態対応訓練をつくばセンター及び地域センターで実施した。また、それらの活動成果等を環境報告に社会性報告を合わせ、「産総研レポート社会・環境報告」として公表した。

[中期計画]

・産総研全体としてのエネルギー消費、温室効果ガス排出についての実情分析を行い、現状を定量的に把握する。当該分析結果を活用し、エネルギー多消費型施設及び設備の省エネルギー化を推進するとともに、高効率の機器を積極的に導入することにより、エネルギーの削減を図る。

[中期実績]

・産総研全体としてのエネルギー消費、温室効果ガス排出についての現状を定量的に把握し空調の高効率化や照明の LED 化などの省エネルギー対策を行った。その結果、エネルギーが 4.1%削減された。

#### IV. 財務内容の改善に関する事項

##### 1. 予算(人件費の見積もりを含む)【別表4】

[中期計画]

(参考)

[運営費交付金の算定ルール]

毎年度の運営費交付金(G(y))については、以下の数式により決定する。

G(y)(運営費交付金)

$$= [ \{ (Aa(y-1) - \delta a(y-1)) \times \beta + (Ab(y-1) \times \varepsilon) \} \times \alpha a + \delta a(y) ] + [ \{ (Ba(y-1) - \delta b(y-1)) \times \beta + (Bb(y-1) \times \varepsilon) \} \times \alpha b \times \gamma + \delta b(y) ] - C$$

・G(y)は当該年度における運営費交付金額。

・Aa(y-1)は直前の年度における運営費交付金対象事業に係る経費※のうち一般管理費相当分のA分類人件費相当分以外の分。

・Ab(y-1)は直前の年度における運営費交付金対象事業に係る経費※のうち一般管理費相当分のA分類人件費相当分。

・Ba(y-1)は直前の年度における運営費交付金対象事業に係る経費※のうち業務経費相当分のA分類人件

費相当分以外の分。

・ $B_b(y-1)$ は直前の年度における運営費交付金対象事業に係る経費※のうち業務経費相当分のA分類人件費相当分。

・Cは、当該年度における自己収入(受取利息等)見込額。

※ 運営費交付金対象事業に係る経費とは、運営費交付金及び自己収入(受取利息等)によりまかなわれる事業である。

・ $\alpha_a$ 、 $\alpha_b$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $\varepsilon$ については、以下の諸点を勘案した上で、各年度の予算編成過程において、当該年度における具体的な係数値を決定する。

$\alpha_a$ (一般管理費の効率化係数):毎年度、平均で前年度比3%以上の削減を達成する。

$\alpha_b$ (業務経費の効率化係数):毎年度、平均で前年度比1%以上の効率化を達成する。

$\beta$ (消費者物価指数):前年度における実績値を使用する。

$\gamma$ (政策係数):法人の研究進捗状況や財務状況、新たな政策ニーズや技術シーズへの対応の必要性、独立行政法人評価委員会による評価等を総合的に勘案し、具体的な伸び率を決定する。

・ $\delta_a(y)$ 、 $\delta_b(y)$ については、新規施設の竣工に伴う移転、法令改正に伴い必要となる措置、事故の発生等の事由により、特定の年度に一時的に発生する資金需要について必要に応じ計上する。 $\delta_a(y-1)$ 、 $\delta_b(y-1)$ は、直前の年度における $\delta_a(y)$ 、 $\delta_b(y)$ 。

・ $\varepsilon$ (人件費調整係数)

## 2. 収支計画【別表5】

### (1)運営費交付金及び外部資金の効果的な使用

[中期目標]

・運営費交付金を充当して行う事業については、「III. 業務運営の効率化に関する事項」で定めた事項に配慮した中期計画の予算を作成し、効率的に運営する。

[中期計画]

・産総研の限られたリソースを有効に活用し、相対的に優先度が低い研究プロジェクトにリソースを割くことがないように、外部資金の獲得に際しての審査に当たっては、以下の点に留意するものとする。

① 外部資金の獲得に当たっては、それによる研究開発と実施中の研究開発プロジェクト等との関係・位置付けを明確にするとともに、産総研のミッションに照らして、産総研として真に優先的、重点的に取り組むべき研究開発とする。

② 特定の研究者に過剰に資金が集中することや他の研究開発課題の進捗よくに悪影響を与えることがないように研究者の時間配分を的確に把握、管理する。

[中期実績]

・外部資金で行う研究開発が産総研のミッションに照らして、優先的、重点的に取り組むべきものになるよう、外部資金獲得に際しての審査を継続して行った。

・運営費交付金事業としてグリーンイノベーション、ライフイノベーション等の社会ニーズを見据え、産総研のコア技術に連携、知財、標準化の戦略的な取り組みを絡め、将来の外部資金獲得が見込めるテーマを募集し、所内審査により真に優先的、重点的に取り組むべき研究開発を見極め、戦略予算事業として配賦した。

・研究テーマデータベースを用いて、研究課題ごとの予算状況や研究者の時間配分の的確な把握、管理に努めた。

[中期目標]

・外部資金の獲得に際して、産総研業務との関係性の審査を行う。また、外部資金を用いた研究活動について、他の研究活動とのバランスが確保できるよう適切に実施する。

[中期計画]

・外部資金による研究開発が産総研の研究開発活動にどのように寄与、貢献しているのか、個々の外部資金の性格に応じて、その有効性を定期的に検証し、その結果を踏まえ、外部資金の獲得による研究開発の在り方について、一層の効率化、重点化の観点から、所要の見直しを行うものとする。

[中期実績]

- ・研究テーマデータベースシステムの集計機能を活かして、外部資金による研究開発の産総研の研究開発活動への寄与・貢献を検証した。さらに、論文数と外部資金による研究の関連、分野による外部資金提供機関（企業・大学）の差異なども検証した。
- ・資金提供を伴う共同研究は、資金提供を伴わない場合に比べ、より多くの研究成果が発表されていることを見出した。今後は、より企業ニーズに即した研究課題の提案や担当研究者のコスト意識の醸成等を通じて、資金提供を伴わない共同研究を減少させていく方向性を打ち出すこととした。

#### [中期計画]

- ・産総研の事業について、個々の目的や性格に照らして、運営費交付金で行う研究と外部資金で行う研究との研究戦略上の位置づけを一層明確化するとともに、民間企業における自社内研究テーマと産総研に期待する共同研究ニーズの的確な把握のための体制整備等を行う。

#### [中期実績]

- ・研究テーマデータベースシステムを活用して、運営費交付金で行う研究と外部資金で行う研究それぞれの研究テーマについて、中期計画との関連、成果発表や予算額の年度推移分析を行った。
- ・民間企業の自社内研究テーマを FS や試作品作成などの支援により産総研との大型共同研究に結びつける資金提供型共同研究獲得支援事業(カタパルト事業)を本格的に実施し、イノベーションコーディネータらが収集・把握した情報を活用して、大型共同研究の創出や増加を図った。
- ・平成 26 年度からはテクノブリッジ事業を新たに開始した。企業とより密接な関係を構築するため、企業ごとに担当のイノベーションコーディネータを配置し、民間企業を訪問すること等を通じて、企業ニーズの的確な把握を可能とする体制を整備した。

#### [中期計画]

- ・大型の外部資金の獲得に当たっては内部の人材を広く集積させる組織体制を構築し、所内のプロジェクト責任者を中心として体制を組む。また、外部資金の獲得の際には、特に民間資金の場合は産総研のこれまでの投入資源を踏まえてユニット内で決定する。

#### [中期実績]

- ・大型の外部資金の獲得を目指し、27 の技術研究組合に参画し、46 の大型外部資金プロジェクトを推進した。うち 18 の大型外部資金プロジェクトについては、産総研研究員がプロジェクトリーダーを務める研究開発を実施した。
- ・異分野技術の融合を加速する仕組みとして、イノベーションコンソーシアム型の共同研究を実施した。産総研が中核機関となることで異業種の企業群との連携を効果的に実現し、大型の共同研究の創出を加速した。
- ・民間企業等との連携においては、これを継続的かつ密接にするために、イノベーションコーディネータ等で企業別専属チームを編成し、企業ニーズの収集を行い、ニーズに合ったソリューションの提案を行った。

## (2) 共同研究等を通じた自己収入の増加

#### [中期目標]

- ・共同研究を通じた民間の研究資金の受入れ、特許使用料、施設利用料等の拡大を進める。

#### [中期計画]

- ・企業との共同研究などの促進のための外部資金の獲得に対するインセンティブ、国益に沿った形での海外からの資金獲得、研究施設の外部利用等の際の受益者負担の一層の適正化等の検討を行う。

#### [中期実績]

- ・外部資金の獲得に向け、インセンティブ制度の見直しを行った。具体的には外部資金獲得のインセンティブ配分率を平成 22 年度の 60%から 80%に引き上げ、技術研究組合参画研究に対するインセンティブの配賦を新たに開始し、配分率を平成 24 年度の 50%から 80%に引き上げを行った。
- ・運営費交付金事業として、将来の外部資金獲得が見込める研究テーマを募集し、戦略予算事業として配賦することで、民間の研究資金の受入れを促進した。
- ・研究施設等の外部利用の際の受益者負担につき、受託研究等経費算定要領や連携研究等経費算定要領を一部改正(徴収料金の見直し等)し、適正化を図った。

[中期計画]

・産総研として取得し管理すべき知的財産権に関する方針を策定し、コアとなる技術に加え、その周辺技術や応用技術についても戦略的に特許を取得することで効果的に技術移転を行う。また、成果移転対価の受領方法を柔軟化する。

[中期実績]

・知的財産権の戦略的・効率的な取得、管理、活用に向け、「産総研知的財産ポリシー」を策定し、同ポリシーのもと、チェックシート(出願戦略シート)などを利用した検討体制の構築を行い、運用を開始した。

・さらにこれらの取り組みを見直し、平成 26 年度には、研究テーマ単位で知財戦略を検討するための情報集約ツール(統合シート)を導入するとともに、研究者が自ら知財戦略を策定できるようになることを目指したガイドライン(知的財産行動指針)を作成し、運用した。併せて、成果の一層の加速を目指し、共有知財にかかる不実施補償の廃止、共有知財の第三者実施許諾の際の手續簡素化を主旨とする共有知財の取扱いの見直しを行い、平成 26 年 11 月より新たなルールでの運用を開始した。

・改正研究開発力強化法の成立により、金銭によらない出資が可能となったことを踏まえ、出資に係る具体的な方法等について、所内に設置した検討委員会で検討を行った。

[中期計画]

・オープンイノベーションの促進、共同研究等連携による地域発イノベーション創出を目指したコーディネーション活動の全国規模での展開、強化を通じた取組も行う。

[中期実績]

・つくばと地域センターのコーディネータを一同に会した「全国イノベーションコーディネータ等会議」を開催する等、コーディネータ間のネットワークを強化することで全国規模での連携の推進を行った。

・地域センターのオープンイノベーション機能に関連する事業(共同研究、技術研究組合、技術研修、外来研究員)の関係経費(施設使用料、人頭経費)について、所長裁量で柔軟に料金設定ができる運用を開始し、施設の利用促進を図ることで拠点の活性化を図った。

・オープンスペースラボとして、臨海副都心センターおよび四国センターでは装置等を備えた公開スペースを設置して、地域の中小企業や研究機関との共同研究を行い、オープンイノベーションハブ機能の強化を推進した。

・産業技術連携推進会議を活用した事業として、地域産業界及び公設試と連携し、「研究連携支援事業」として 20 課題を実施した。

・東北、中国、九州地域において、産業技術指導員が地域産学官連携センターのイノベーションコーディネータと連携して、地域の研究開発型有望企業を訪問する等、地域企業との連携強化を図った。

・各地域センターと協力し、地域のグローバルニッチトップ(GNT)企業 28 社を訪問し、現在 6 社と公的研究資金への提案又は資金提供型共同研究締結に向けた調整を行った。

[中期計画]

・技術相談、技術研修にあたっては、受益者負担の観点から制度の見直しを行う。

[中期実績]

・技術相談及び技術研修の実施にあたり、検討チームにより、受益者負担、制度利用促進の観点の両面から適正な課金制度の検討を行った。具体的には、既に受益者に負担を求めている研究機関等に対して、ヒアリング等により先行事例調査を行った。その結果を踏まえ、新技術の導入支援など産総研の技術的なポテンシャルを活かした有償の指導助言等を行うための新制度(技術コンサルティング)の創設に向けて検討を行った。また、平成 26 年度より開始した RA 制度については、問題点の抽出、改善策の提示等のフォローアップを行い、各部署との調整を行った。

[中期計画]

・このように従来以上の外部資金獲得可能性を検討し、外部資金の一層の獲得を進める。

[中期実績]

・「人」や「場」等の産総研のリソースを活用して 27 の技術研究組合に参画し、18 の技術研究組合の主たる研究拠点を産総研内に設置して集中研究を実施した。

・大型共同研究創出のための所内制度および支援体制の見直しを行った。また、技術研究組合参画研究に



については、参画のための所内制度及び支援体制を構築した。

・産総研の「人」又は産総研という「場」を活用する形で実施される外部資金による研究規模が、第3期中期目標期間終了時まで産総研運営費交付金の50%以上となった。

・企業からの外部資金獲得に特化した「資金提供型共同研究獲得支援事業(カタパルト事業)」の立ち上げを行い、平成24年度から平成26年度の3年間の施行を行った。60件の採択の内23件が資金提供型共同研究契約に至り、外部資金の一層の獲得を進めた。

### 3. 資金計画【別表6】

#### IV. 短期借入金の限度額

[中期計画]

(第3期:19,220,000,000円)

想定される理由:年度当初における国からの運営費交付金の受け入れが最大3ヶ月遅延した場合における産総研職員への人件費の遅配及び産総研の事業費支払い遅延を回避する。

[中期実績]

短期借り入れの実績なし

#### V. 重要な財産の譲渡・担保計画

[中期計画]

次の不要資産を処分する。

・九州センター直方サイトの土地(福岡県直方市、22,907㎡)及び建物

[中期実績]

・九州センター直方サイトについては、平成25年2月15日に現物による国庫納付を行った。

・中部センター瀬戸サイトについては、平成26年3月31日に現物による国庫納付を行った。

#### VI. 剰余金の使途

[中期計画]

剰余金が発生した時の使途は以下の通りとする。

・用地の取得

・施設の新営、増改築及び改修

・任期付職員の新規雇用等

[中期実績]

なし

#### VII. その他業務運営に関する重要事項

##### 1. 施設及び設備に関する計画

[中期計画]

・施設整備に際しては、長期的な展望に基づき、安全で良好な研究環境の構築、ライフサイクルコストの低減、投資効果と資産の活用最適性に配慮した整備を計画的に実施する。

[中期実績]

・施設整備計画等に基づく建物の閉鎖・解体により、ライフサイクルコストの低減を図るとともに、省エネルギーや安全に配慮した老朽化対策による投資効果の高い安全で良好な研究環境を構築した。

また、新営棟の建設(研究拠点の再構築)に際しては、将来の用途変更にも容易に対応可能な汎用性の高い標準実験室を整備することで、資産の活用最適性に配慮した。

平成20年度	老朽化(国債)	1.9	耐震化改修 5-2棟(三カ年国債)
平成20年度 (1次補正)	老朽化	4.1	爆発実験施設改修
平成20年度 (2次補正)	老朽化	17.1	空調設備改修等
平成21年度	老朽化	15.1	空調設備改修
平成21年度	老朽化(国債)	24.7	耐震化改修 3-1棟、4-1棟、5-1棟、 6-1棟、西-1棟、東-1棟(三カ年国債)
平成21年度 (1次補正)	新営棟	6.1	生活支援ロボット安全研究拠点整備事業
	老朽化	8.1	電力関連設備改修
	高度化	93.8	・ナノテク拠点整備(76.6億円) ・蓄電池評価研究センター拠点整備(11.6 億円) ・太陽電池モジュール信頼性評価施設(5.6 億円)
	東南海・南海地震 予測のための地 下水等総合観測 点整備	0.01	調査1箇所(愛媛県新居浜市)
平成22年度 (1次補正)	新営棟	29.9	世界的産学官連携研究センター整備事業
平成23年度	老朽化	1.0	石綿関連改修
平成23年度 (1次補正)	老朽化	29.5	災害復旧のための施設・設備改修
平成23年度 (3次補正)	新営棟	50.0	福島再生可能エネルギー研究開発拠点整 備事業
	東南海・南海地震 予測のための地 下水等総合観測 点整備	11.0	・新規設置2箇所(愛知県西尾市、愛媛県 新居浜市) ・高度化改修30箇所(東京都大手町、静岡 県掛川市、静岡県菊川市、静岡県御前崎 市、静岡県静岡市、静岡県牧之原市、愛知 県豊橋市、愛媛県松山市、愛媛県松山市、 愛媛県西予市、三重県紀北町、三重県熊 野市、三重県松坂市、三重県津市、徳島県 阿南市、徳島県鳴門市、高知県高知市、高 知県室戸市、高知県須崎市、高知県土佐 清水市、和歌山県岩出市、和歌山県串本 町、和歌山県田部市、)
平成24年度	老朽化	5.6	石綿関連改修
	老朽化(国債)	9.0	耐震化改修 7-1棟(二カ年国債)
平成24年度 (1次補正)	新営棟	110.0	つくばセンター、関西センター、北海道セン ター、東北センター、九州センター
	老朽化	218.0	建築関連改修、電力関連設備改修、給排 水関連設備改修、排ガス処理設備改修、 空調設備改修、廃水処理設備改修、エレ ベーター設備改修等
平成25年度	老朽化	0.1	石綿関連改修
平成25年度 (1次補正)	新営棟	89.9	グローバル認証基盤整備事業
	老朽化	38.1	電力関連設備改修、空調設備改修、外壁 建具改修、給排水関連設備改修、排ガス 処理設備改修等

## 2. 人事に関する計画

### [中期計画]

・第3期中期目標期間において、第2期中期目標期間にまとめた人材開発戦略会議の報告の内容を具体化しつつ、新たな中長期的な人事戦略とし、人材の競争性、流動性及び多様性をより一層高めるとともに、研究マネジメント等様々な分野における専門的な人材の確保、育成に取り組む。

### [中期実績]

・平成22年度から、中長期的な人事戦略の策定に向けた検討を行い、平成24年度に「産総研の研究開発業務の一層の推進のための業務運営体制の改善について(中間とりまとめ)」を同年6月21日付で理事会決定し、下記措置を実施した。

- 1) 研究推進組織における研究職員の役職等の見直し
- 2) 専門的な業務を担う人材の確保
- 3) 管理職員の明確化
- 4) 事務職員に係る役職定年制の実施
- 5) 事務系契約職員等に対する職員登用

・平成26年4月から産総研が行う研究開発プロジェクトに優秀な学生の参画を促進するため、技術研修員のうちの大学院生をリサーチアシスタントとし雇用する制度を創設した。

・優れた技術シーズと人材を取り込むため、平成26年11月1日より、複数の機関で同時に研究等に従事することを可能とするクロスアポイントメント制度を導入した。

・第4期中期計画より、任期付職員における年俸制を導入すべく、制度設計などの準備を行った。【再掲】

#### [中期計画]

・研究職はより若手の研究者、事務職は求める専門性の視点での採用を検討、推進する。また、女性研究者や外国人研究者の採用も積極的に行う。

#### [中期実績]

・優秀な若手研究者の確保のため、博士課程修了予定者の就職活動時期に合わせて、審査時期を早期化し、審査基準を実績重視から将来の資質重視に見直しを行った。これにより、期首平成22年度において採用者平均年齢32歳、採用者数55名であったものが、期末平成26年度において採用者平均年齢30.9歳、採用者数65名へと採用年齢の低下と、採用者数増加の実績を得た。また、任期付期間中の育成を強化するため、研修制度の拡充を図った。さらに、第4期においても若手研究員の採用を促進するため、応募者の実績・能力に応じて、適宜パーマネント型での採用を可能とするフレキシブルな制度設計を行うとともに、任期付年俸制の導入を決定するなど、採用制度の見直しを行った。

・女性研究職の積極的な採用を行うため、就職情報誌等への掲載や理工系女子を対象とした合同説明会へ参加して応募に繋がる活動を行った。

・各研究分野の採用担当者のデータを提示し、採用目標比率の再確認、注意喚起を行った。

・外国人研究者については毎年度計画的な採用を行った。

#### [中期計画]

・また、研究職個々人の研究開発能力の向上とともに、研究開発マネジメントの人材を育成し、事務職においては専門性の蓄積を重視した人事ローテーションを実施することにより専門家人材を育成する。

#### [中期実績]

・平成24年6月21日付理事会決定の「産総研の研究開発業務の一層の推進のための業務運営体制の改善について(中間とりまとめ)」に基づき、事務職員のキャリアパス計画を明示してキャリアパスを類型化し、これを反映した人事調査書により、本人が希望する今後のキャリアパス、現在の勤務状況等を調査した。事務職員が配置されている部署の所属長等への人事ヒアリングでは、その調査書を参考に、各部署において専門性を必要とする業務の把握を行い、その結果を踏まえた人事ローテーションを実施した。

また、専門性の必要な人材の育成に向けた検討については、産学官、知財、広報等の専門性の高い業務の研修を実施した。施設業務においては、他省庁研修を活用して育成を進めた。施設業務においては、他省庁研修を活用して育成を進めるとともに、関連する建築士などの資格取得を支援するため、当該資格の取得を促進する補助制度を平成25年度に改定した。

#### (参考1)

期初の常勤職員数 3,190人

期末の常勤職員数の見積もり: 期初と同程度の範囲で人件費5%削減計画を踏まえ弾力的に対応する。

※任期付職員については、受託業務等の規模や研究開発力強化法の趣旨に則って必要人員の追加が有り得る。

(参考2)第3期中期目標期間中の人件費総額

中期目標期間中の総人件費改革対象の常勤役職員の人件費総額見込み:133,793百万円

なお、総人件費改革対象の常勤役職員の人件費総額見込みと総人件費改革の取組の削減対象外となる受託研究費等により雇用される任期付研究員の人件費との合計額は137,602百万円である。(受託業務等の獲得状況により増減があり得る。)

ただし、上記の額は、役員報酬並びに職員基本給、職員諸手当、超過勤務手当、退職者給与及び国際機関派遣職員給与に相当する範囲の費用である。

### 3. 積立金の処分に関する事項

[中期計画]

・なし

[中期実績]

・なし

## 《別表 1》 鉱工業の科学技術

### I. グリーン・イノベーションを実現するための研究開発の推進

#### [中期目標]

二酸化炭素等の温室効果ガス排出量を削減しつつ、資源・エネルギーの安定供給及び確保を図るグリーン・イノベーションを推進するため、再生可能エネルギーの導入拡大技術、エネルギー供給システムの高度化、運輸、民生、産業部門等における省エネルギーに資する革新的技術開発を行う。また、資源の確保と有効利用とともに、グリーン・イノベーションを支える材料及びデバイスの開発、産業の環境負荷低減や安全性の評価及び管理技術、廃棄物等の発生抑制技術と適正処理技術の開発を行う。

#### [中期計画]

グリーン・イノベーションを実現するためには、二酸化炭素等の温室効果ガスの排出量削減と、資源・エネルギーの安定供給の確保を同時に図る必要がある。温室効果ガスの排出量削減のため、再生可能エネルギーの導入と利用拡大を可能とする技術及び運輸、民生等各部門における省エネルギー技術の開発を行う。資源・エネルギーの安定供給のため、多様な資源の確保と有効利用技術、代替材料技術等の開発を行う。将来のグリーン・イノベーションの核となるナノ材料等の融合による新機能材料や電子デバイスの技術の開発を行う。産業部門については、省エネルギー技術に加えて環境負荷低減や安全性評価と管理、廃棄物等の発生抑制と適正処理に関する技術の開発を行う。

#### 1. 再生可能エネルギーの導入拡大技術の開発

#### [中期目標]

低炭素社会の実現に向け、再生可能エネルギー（太陽光発電、バイオマス、風力、地熱等）の有効利用のための技術開発を行う。また、変動を伴う自然エネルギーを利用するための高効率なエネルギーマネジメントシステムの開発を行う。

#### [中期計画]

再生可能エネルギーは枯渇の心配がなく、低炭素社会の構築に向けて導入拡大が特に必要とされるエネルギーである。このため、再生可能エネルギー（太陽光、バイオマス、風力、地熱等）を最大限有効利用するための技術の開発を行う。また、再生可能エネルギーの需要と供給を調整し、末端最終ユーザへの安定供給を行うために必要なエネルギー貯蔵、パワーエレクトロニクス、エネルギーネットワークにおける統合制御技術の開発を行う。

##### 1-(1) 太陽光発電の効率、信頼性の向上技術

#### [中期目標]

我が国の再生可能エネルギー拡大の大宗を担う太陽光発電の利用拡大のために、発電効率と信頼性の向上のための技術の開発を行う。

#### [中期計画]

太陽光発電技術に関して、共通基盤技術及び長寿命化や発電効率の向上等に関する技術の開発を行う。具体的には、太陽光発電普及に不可欠な基準セル校正技術、評価技術、診断技術等の基盤技術開発を行い、中立機関としてその技術を産業界に提供するとともに、標準化に向けた活動を行う。また、長寿命化、高信頼性化のために構成部材、システム技術等の開発を行うとともに寿命の検証のための評価技術の開発を行う。

##### 1-(1)-① 太陽光発電の共通基盤技術の開発及び標準化（IV-3-(1)-②へ再掲）

#### [中期計画]

・太陽光発電システム普及のための基盤となる基準セル校正技術、高精度性能評価技術、屋外性能評価技

術、信頼性評価技術、システム評価技術、システム故障診断技術等を開発し、それらを産業界に供給する。性能評価の繰り返し精度を1%以下に向上させる。

[中期実績]

・超高温黒体炉を用いたスペクトル精度向上等により、基準セル校正における分光放射光度測定のコンプォネント不確かさを低減した。新型太陽電池の高精度性能評価技術を開発し、集光型太陽電池セルでも測定再現性 1%以内を達成した。開発技術の標準化、普及と国際整合性に関し、JIS、IEC 規格制定へ技術的に貢献するとともに、試験機関への技術移転および欧、米、アジアの太陽電池評価機関との国際比較測定、技術交流等の連携を推進した。メーカー、大学、研究機関の開発した新型太陽電池の高精度性能評価を実施することにより、高精度化、低コスト化技術開発に貢献した。発電量評価技術では、つくば、鳥栖における各種太陽光発電システムの発電量データを定量的に検証するとともに、データベースを構築した。屋外での性能評価に影響が大きい環境要素を明らかにし、その影響を低減する技術を考案して、屋内高精度測定値に対する屋外測定値の精度 2%以内を達成した。システム故障診断技術に関して、低圧システムの電流－電圧特性測定による結晶シリコン太陽電池モジュールの不具合探索法を考案するとともに、直流電気安全に関するガイドライン試案を作成した。

### 1-(1)-② 太陽光発電の長寿命化及び高信頼性化

[中期計画]

・太陽光発電システムの寿命及び信頼性の向上のために、太陽電池モジュール構成部材、システム構成部材、システム運用技術等を開発する。新規部材を用いること等により、太陽電池モジュールの寿命を現行の20年から30年に向上させるとともに、それを検証するための加速試験法等の評価技術を開発する。

[中期実績]

・屋外曝露による太陽電池モジュールの劣化機構を調査し、高温、高湿、紫外光照射、機械的圧力、高システム電圧等の劣化因子と各種の劣化現象の相関を明確化した。屋外での劣化の再現には劣化因子を組み合わせ合わせた試験法が有効であることを示すとともに、寿命予測に繋がることが期待される新規加速試験法を開発した。特にこれまで明確化されていなかった加速試験時間と屋外寿命の関係について、モジュール内残留酢酸量が指標となることを実験的に証明するとともに、新規に開発したモジュール部材を用いることにより、予測寿命 30 年の結晶シリコンモジュールを実現した。また、17 種類の太陽電池アレイで構成される大規模フィールドテストサイトを構築するとともに、屋外発電量評価と長期信頼性評価に関するデータを蓄積した。さらに、電圧誘起劣化を屋外で再現可能なシステムを世界で初めて構築し、多湿環境で電圧誘起劣化が生じやすいことを実証した。

### 1-(1)-③ 太陽光発電の高効率化

[中期計画]

・太陽光発電システムの低コスト化に直結する発電効率の大幅な向上を目指し、結晶シリコン、薄膜シリコン、化合物薄膜、有機材料、それぞれの太陽電池デバイス材料の性能に関して、相対値で10%以上の効率向上のため、表面再結合の抑制と高度光閉じ込めにより、安定で高性能な新材料や、それを用いた多接合デバイスを開発する。

[中期実績]

・1)CIGS 太陽電池で世界最高効率(CZTSSe では世界最高と同等)を達成した。  
2)アモルファスシリコンの光劣化抑制技術や新たな光閉じ込め構造を開発し、単接合および二接合の薄膜シリコン太陽電池で世界最高効率を達成した。  
3)有機薄膜太陽電池において、新規な p 型半導体材料の適用やデバイス構造最適化により、単接合で変換効率 9.0%を得た。高分子/低分子ハイブリッド二接合太陽電池で、世界最高レベルの 8.2%を実現した。  
4)スマートスタック 4 接合太陽電池で変換効率 30.4%を達成した。量子ドット太陽電池において 400 層以上の多積層化、および超格子のミニバンドを利用した太陽電池を世界で初めて作製した。  
5)結晶 Si 太陽電池量産化試作施設を構築し、作製プロセス技術の高度化を行うことにより、実用サイズ(156mm 角)で変換効率 19.3%を達成した。  
全ての太陽電池で第 3 期当初に比べ相対効率向上 10%以上を達成した。

## 1-(2) 多様な再生可能エネルギーの有効利用技術

### [中期目標]

多様な再生可能エネルギーの利用を拡大するため、バイオマス、風力、地熱資源等を有効に利用する技術の開発を行う。

### [中期計画]

温暖化防止や新たなエネルギー源の確保のため、バイオマス資源、風力、地熱及び次世代太陽光利用等、多様な再生可能エネルギーの利用に必要な要素技術、評価技術等の開発を行う。

具体的には、非食料バイオマス資源を原料とする燃料製造技術、高品質化技術等の開発を行う。また、我が国の気象条件を考慮した、安全性や信頼性に優れた風力発電のための技術の開発を行う。地熱資源開発のための評価技術、特に低温地熱資源のポテンシャル評価技術の開発を行い、地熱発電及び地中熱利用システムの開発普及に寄与する。さらに、多様な再生可能エネルギーについての情報を収集し、必要に応じて新たな技術の開発に着手する。

### 1-(2)-① バイオマスからの液体燃料製造及び利用技術の開発（I-3-(1)-④へ再掲）

#### [中期計画]

・バイオ燃料製造技術の早期実用化を目指して、高効率バイオ変換（酵素糖化、発酵）技術、熱化学変換（ガス化、触媒合成）技術、及びトータルバイオマス利用評価技術を開発する。特に、エネルギー収支2.0（産出エネルギー／投入エネルギー）以上の高効率バイオ燃料製造プロセスの基盤技術を開発する。

油脂系バイオマスの化学変換（触媒存在下の熱分解や水素化処理及びそれらの組み合わせ処理）により、低酸素の自動車用炭化水素系燃料（重量比酸素分0.1%未満）を製造する第2世代バイオ燃料製造技術を開発する。また、東アジアサミット推奨及び世界燃料憲章提案の脂肪酸メチルエステル型バイオディーゼル燃料（BDF）品質を満たすために、第1世代BDFの高品質化技術（酸化安定性10h以上）等を開発する。同時に、市場導入に必要な燃料品質等の国内外の標準化を行う。

#### [中期実績]

・高効率バイオ変換技術における酵素糖化については、欧米の知財に抵触しない産総研独自の微生物を用いて、バイオエタノール製造プロセスでの糖化酵素による生産性の向上、バランスの最適化、工業化のための耐熱化に成功した。アルコール発酵については非可食性原料に適用可能で、同時糖化発酵に適した酵母の開発を行った。一方、熱化学変換技術については、バイオマスのガス化、フィッシャー・トロプシュ（FT）合成触媒の開発に成功し、水素化分解の各要素技術を確立した。これらの成果を基に、環境省、複数の民間企業とエネルギー収支が2.0を上回るバイオジェット燃料製造実証を行うべく計画を進めた。トータルバイオマス利用評価技術として、持続可能なバイオマス利用評価技術の精緻化を図り、不確実性が大きい土地利用に関して、現地調査等を通じて評価技術の精緻化も行った。

・第2世代バイオ燃料製造技術の開発では、バイオマス残渣の急速熱分解技術及び熱分解生成油であるバイオオイルの水素化脱酸素反応による低酸素自動車用炭化水素系燃料（重量比酸素分0.1%未満）製造技術の確立を目標とし、パイロットプラント運転により、基盤技術を構築することができた。平成24年度に急速熱分解用触媒及び脱酸素用触媒技術、平成26年度にパイロットプラント規模でのバイオオイル製造技術をそれぞれ開発した。第1世代BDFの高品質化技術開発では、東アジアサミット推奨及び世界燃料憲章提案の品質を満たす、第1世代BDFの高品質化技術（酸化安定性10h以上）等の開発が目標であったが、平成23年度にパイロットプラント運転で目標を達成するとともに、当初予期していなかった実車走行試験による自動車適合性実証や不純物高度除去技術の開発を実現し、工業化につながる基盤技術を確立した。平成22年度にJST-JICA事業でタイにパイロットプラントを設置し、平成23年度にBDFの部分水素化技術、平成25年度にモノグリセリド除去技術、平成26年度に部分水素化触媒の耐久性向上技術をそれぞれ開発した。

・バイオ燃料関連では、JIS K2190:2011（燃料用エタノール）の制定およびJIS K2390:2008（自動車用燃料・混合用脂肪酸メチルエステル（FAME））の改訂に貢献し、東アジア・アセアン経済研究センター（ERIA）事業における良質なバイオディーゼル燃料の流通を目指した活動として、東アジア・アセアン地域で共有し得るバイオディーゼル燃料品質のガイドライン（EEBS:2013）作成を主導した。EEBS:2013の成果は、各国のバイオディーゼル燃料規格のよりよい品質への見直しに大きく影響を与えた。燃料用ジメチルエーテル（DME）品

質およびその分析方法では、JIS K2180-1～6の制定およびISO化を主導し、平成27年以内にISOが発行される見通しとなった。また、再生可能エネルギー貯蔵・流通に関するトータルシステムシナリオ検討のプロジェクトを開始し、各種エネルギーキャリアに関する実用化に向けた標準化課題の調査やバイオ燃料の品質評価に従事可能な東アジア地域の技術者の育成も行った。

#### 1-(2)-② 風力発電の高度化と信頼性向上

##### [中期計画]

・我が国の厳しい気象や風特性を反映した風特性モデルを開発し、安全性と信頼性に優れた普遍的な風車技術基準をIEC国際標準として提案する。また、高度な風洞実験やシミュレーション技術を援用することにより、風速のリモートセンシング技術の精度と信頼性を向上させ、超大形風車ウインドファームの発電量を数パーセント以下の不確かさで評価する技術を開発する。

##### [中期実績]

・複雑地形における信頼性の高い風計測によって得られた風データを詳細に解析するとともに、風洞実験、CFDシミュレーション結果と比較、検証することによって、我が国の厳しい気象や風特性を反映した風特性モデルを開発した。さらに、厳しい風特性モデルが実際の風車設計に与える影響を風車荷重シミュレーションにより解析した結果を加えてIEC国際標準に提案するための風特性モデルを策定した。この新たな風特性モデルは、IEC 61400-1 Ed. 4 CD文書に正式に採用された。また、発電量評価技術の高度化を目的として最先端リモートセンシング技術のひとつであるLIDAR(Light Detection and Ranging)と風計測マストを併用した年間発電量予測手法を開発した。この技術により、複雑地形においても約3%の不確かさで精度、信頼性を確保しつつ、比較的低コストで年間発電量が評価可能であることが実証された。

#### 1-(2)-③ 地熱資源のポテンシャル評価（別表2-2-(2)-②の一部を再掲）

##### [中期計画]

・再生可能エネルギーとして重要な地熱資源の資源ポテンシャルを地理情報システムによって高精度で評価し、全国の開発候補地を系統的に抽出する。また、地熱開発促進にむけて地熱利用と温泉保全の両立を図るため、温泉発電技術や貯留層探査評価技術を含む地熱技術を開発する。さらに、地中熱利用のため、平野部等の地下温度構造及び地下水流動モデルを構築する。

##### [中期実績]

・2007年刊行の「全国地熱ポテンシャルマップ」の改良を検討し、貯留層深度の推定法や温度データの補間法等について改善点を抽出した。その結果を取り入れた全国の地熱資源マップを、環境省の受託業務として作成し（環境省にて公開準備中）、全国の開発候補地をより系統的に抽出可能にするバックグラウンドデータを整えた。一方、福島県と岩手県の2地域での現場試験・シミュレーションを通じて、涵養が地熱貯留層に与える影響をモニタリング可能にした。また、欧米で導出された水圧破碎制御の概念をモデル化した上で、産総研で開発した水圧破碎シミュレータへ組み込み、加圧注水工程を設計可能とした。さらに、岩手県葛根田地域で実証試験を行い、本手法の妥当性を示した。さらに、脆性領域以深での超臨界地熱資源の開発に関し理学的・工学的に検討した結果、技術的に大きなブレークスルーが必要なものの、国内に多数ある古カルデラで一カ所あたり数百MW規模（全国規模で数GW規模）の発電可能性があることを見出した。

・青森県津軽平野に関して、現地調査に基づいて構築した地下水流動・地下温度構造モデルを利用して、熱交換予測シミュレーションおよび地中熱システム成績係数分布のシミュレーションを行い、ポテンシャルマップの高度化を図った（国際誌にて発表）。また、これまでの地中熱ポテンシャル評価の研究手法を総括し、課題を抽出した。とくに「水理地質情報の利用」に関する論文では、情報地質学会賞を受賞するなど高く評価された。さらに、東北5地域の地中熱ポテンシャルマップ作成のため、主要地域の地質データをコンパイルした。うち会津盆地については、シーズ支援事業とも絡めて基礎データを収集し、各種学会にて発表した。

また、福島再生可能エネルギー研究所においては、地球熱資源探査・利用技術、実機も利用した地中熱利用システムに関する研究開発を重点化した。

#### 1-(2)-④ 次世代型太陽光エネルギー利用技術



#### [中期計画]

・太陽光エネルギーを直接利用した水の分解により水素を製造する、可視光応答性の光触媒や光電極による分解プロセスの効率向上を目的とした、光電気化学反応技術を開発する。また、人工光合成システムの経済性や実現可能性を検証する。

色素増感太陽電池の高性能化と耐久性向上を目的として、増感色素や半導体電極、電解質、対極、封止材、セル構造等の改良を図る。色素増感太陽電池の早期実用化への貢献を目指し、新規色素や半導体を30種類以上開発し、データベース化する。

#### [中期実績]

・WO<sub>3</sub>とBiVO<sub>4</sub>の多層構造の光電極を炭酸塩電解液中で反応することで電圧ロスを考慮した太陽エネルギー変換効率として1.35%を達成した。この値は全てのn型光電極の中で平成23年当時世界最高であった。最終的にはWO<sub>3</sub>膜の表面形状を最適化し、1.46%まで向上できた。また、n型光電極上で過硫酸などの有用化学品が効率良く製造できることを見出し、その効率を2.1%まで向上できた。高速自動半導体探索装置を有効活用して、2万個以上の材料を探索し、Fe系やCu系など100種類以上の電荷分離能力の高い新規材料群を見いだした。光触媒・電解による人工光合成システムに関して、Cs表面処理したWO<sub>3</sub>光触媒を過塩素酸鉄レドックス媒体中で用いると活性が大きく向上する効果を見出し、レドックス媒体に変換蓄積される太陽エネルギー変換効率としては世界最高の0.38%を達成した。また、Au担持TiO<sub>2</sub>光触媒では、量子収率を58%に向上できた。本システムについてコスト試算を行い、太陽電池と電解装置を組み合わせた水素製造よりも低コストである30円/Nm<sup>3</sup>以下の水素製造が可能になる条件を明確化できた。また、水素と炭酸ガスから常温常圧でギ酸を製造できるIr錯体を開発した。

・色素増感太陽電池に関して、近赤外光に感度を持つ新規ルテニウム錯体色素を合計100種類合成した。色素のHOMOとヨウ素レドックスとの電位差( $\Delta G$ )の大きさと光電変換特性との相関を詳細に調べ、 $\Delta G$ として少なくとも0.3Vあれば十分に電子移動が進行することを確認できた。この知見を基に色素のHOMO準位の最適化を行い、最高で10.7%の効率の新規色素を開発した。最終的に、これらの新規開発した色素の物性や電池特性を記載したデータベースを完成させた。高性能化として、錯体色素と有機色素を混合することで、世界最高レベルの効率(11.1%)を達成した。色素構造とヨウ素電解液および添加剤との相互作用が短絡電流および開放電圧に影響するという新たな機構を分子軌道法により検証した。SCN基を持たない多座配位子のルテニウム錯体色素は、大気中で照射する劣化加速試験においても高い耐久性を示すことがわかった。水よりも酸素が劣化の主要因であることを確認した。計算化学手法を用い、高い耐久性を示した錯体色素は酸素分子との親和性が低いことがわかり、色素特性予測と耐久性向上の指針を得た。

### 1-(3) 高効率なエネルギーマネジメントシステム

#### [中期目標]

出力変動の大きな自然エネルギーの大量かつ高効率な利用を可能とするエネルギーマネジメントシステム技術及びそのために必要な要素技術の開発を行う。

#### [中期計画]

自然エネルギーの導入拡大等による出力変動を吸収して安定した電力を供給するための技術の開発を行う。具体的には、エネルギー貯蔵技術、パワーエレクトロニクス技術、情報通信技術等を活用して、地域の電力網における電力供給を安定させるためのエネルギーネットワーク技術の開発を行う。また、高効率電力ネットワークシステムに必要となる電力変換器の高効率化と高密度化を実現する素子の開発を行うとともに、その量産化、集積化及び信頼性向上に必要な技術の開発を行う。

#### 1-(3)-① エネルギーネットワーク技術の開発 (I-2-(2)-①へ一部再掲)

#### [中期計画]

・太陽電池等の再生可能エネルギー機器が高密度に導入された住宅地域のエネルギーネットワークを設計、評価する技術及びネットワークを効率的に運用するためのマネジメント技術を開発する。数百戸規模の住宅における実用化を目指して、数十戸規模の住宅を対象とした研究を行う。また、電力系統の再生可能エネルギー発電受入れ可能量を大幅に拡大するための負荷制御技術等を、試作器の開発等により実証する。電力計に内蔵される電力線通信機器(PLC)を開発し、家電や太陽光発電装置等との通信、制御を実現する

ことにより、PLCによるエネルギーマネジメントの有効性を実証する。また、発電システム効率の5%向上を図るため、太陽光発電パネルのメンテナンス時期と故障を検知し、パネル単位での制御を可能にする直流用PLCを開発する。

[中期実績]

・ヒートポンプ給湯機や太陽光発電のパワーコンディショナの活用で、電力システムへの再生可能エネルギー大量導入時における需給バランス維持や配電線電圧変動といった課題を解決するための制御技術を開発した。住宅エネルギーネットワークの統合マネジメント実験施設を構築し、試作機等による検証を行った。実住宅において、ヒートポンプ給湯機を系統周波数に応じて制御することで、風力発電が大量導入された電力システムの需給バランス維持に貢献できることを実証した。気象情報を用いた太陽光発電出力予測手法や、統計的手法等によるエネルギー需要予測手法を開発し、それらを組み込んだ住宅エネルギー需給計画モデルを構築した。予測に基づく最適運用計画の立案、計画に沿った機器運用と住宅間エネルギー融通を行う統合制御技術を開発するとともに、配電系統、太陽光発電、ヒートポンプ給湯機、負荷模擬装置、蓄電池等で構成される数戸規模の実証実験を行い、技術の適用性を検証した。さらに、エネルギー消費データを改良し、数十戸規模住宅を模擬した実証実験を実施し、統合制御技術により効率的な運用ができることを確認するとともに、制御技術の数百戸規模への拡張性も示した。

・独自の高ノイズ耐性のPLCを考案し、その実装としてスマートメータ向きキロヘルツ帯PLCと個々の太陽光パネルの発電状況をモニタする直流用PLCの二つを開発した。キロヘルツ帯PLCに関して、大規模集積回路(LSD)化可能な段階までPLC通信装置を完成させ、電力量計や家電制御(HEMS)機器への内蔵を想定したノイズ耐性試験や長距離伝送試験を行い、通信手段としての実用性を示した。また、これによるエネルギーマネジメントの実験を通じて、その有効性を実証した。直流用PLCに関して、小型化に成功した通信装置を、太陽光発電パネルの各端子箱に組み込み、パネル単位での発電状況モニタリングが可能であることを実証した。当該技術の基本特許が成立し、技術移転先での製品化も達成した。また、発電事業者等と連携してクラウドを活用した太陽光発電パネルのモニタリングシステムを構築し、その効果を商用メガソーラーにて実証実験を行った。不具合検出結果を活かした適切なパネルメンテナンスと組み合わせることで発電ロスを解消し太陽光発電システムの発電効率を5%向上可能なことを確認し目標を達成した。

### 1-(3)-② 電力変換エレクトロニクス技術の開発

[中期計画]

・電力エネルギーの高効率利用を可能とするSiCやGaN等の新規半導体材料を用いた高性能パワー素子モジュール及びそれらを用いた電力変換エレクトロニクス技術を開発する。具体的には、SiC、GaN素子の普及に必要な低コスト大口径高品質ウエハ製造技術、高信頼でより低損失高耐圧なパワー素子技術とその量産化技術(50A級素子歩留まり70%)、高機能を実現する10素子規模の集積化技術、200~250°Cの高温実装技術や、25~30W/cm<sup>3</sup>の高出力パワー密度化技術を統合した回路設計、製作技術を開発する。省エネルギーに効果的な次世代ダイヤモンドパワーデバイスの実用化を目指して、結晶欠陥評価技術の高度化により低欠陥高品質エピタキシャル膜の製造技術を開発する。また、実用的な縦型構造を有し、低損失かつ冷却フリーで250°Cにおいて動作するパワーダイオードを開発する。

[中期実績]

・低コスト・大口径・高品質のSiCウエハ製造では、溶液法による2インチ2cm厚の結晶、6インチ結晶からウエハへの10時間以内の加工、従来の4°オフ基板と同等品質の低オフ角(2°以下)エピウエハを実現した。SiC素子では、50A級素子の量産化(歩留まり70%超)、耐圧2kV超のSJ構造、3.3kV耐圧で10mΩ・cm<sup>2</sup>以下の高耐圧MOSFET、16.5kV-60AのIGBT素子(世界最高)とそのスイッチング動作を実現した。GaN素子では、素子特性の変動抑制と600V耐圧の縦型素子用結晶を実現した。また、素子応用の面では、50素子のSiC集積回路、高温実装適用の70W/cm<sup>2</sup>変換器、高耐熱の抵抗とコンデンサを混載した225°C動作1.2kV-50A級SiCモジュールを実現した。

本項目では、材料から回路応用に至る一貫研究体制の下、各段階で中期計画目標を上回るとともに、学界・産業界からの注目度も高い成果を多数あげた。さらに、つくばパワーエレクトロニクスコンステレーション(TPEC)等を通じた技術移転も進めた。

・ラマン散乱、CL、X線トポグラフィ法を用いたダイヤモンド中の結晶欠陥評価技術を確立し、45°複合転位がエピタキシャル成長膜中に歪を与え、膜中を貫通していることを同定した。基板表面における研磨欠陥がエ

ピタキシャル成長膜中の欠陥生成に与える影響を観察し、超高精度研磨を評価し、エピタキシャル成長膜中での転位生成が新規に起こらないことを確認した。p-/p+構造を可能とするドリフト層中の不純物ドーピング濃度制御の確立に成功した。先述の結晶欠陥評価技術と組み合わせることでエピタキシャル成長膜の高品質化に成功し、さらにシミュレーションにより最適計算された Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 厚膜フィールドプレート形成技術を組み合わせることで素子化に成功した。実用的な縦型構造を有するパワーダイオードを設計・試作し、2kV 耐圧素子の 250°C動作、電流密度 1kA/cm<sup>2</sup> のショットキーダイオード素子の試作に成功した。さらに、250°Cにおける 0.4A/100V 動作で、15nsec の高速スイッチング性能と 60nJ の低損失を世界で初めて実証し、冷却不要の高温で高速・低損失動作可能であることを示した。円形小型 MESFET を試作し、1kV を超える耐電圧を世界で初めて実現した。

## 2. 省エネルギーによる低炭素化技術の開発

### [中期目標]

省エネルギー推進による低炭素社会の実現のため、運輸システムの高度化、住宅、ビル、工場の省エネルギー技術及び情報通信の省エネルギー技術の開発を行う。

### [中期計画]

省エネルギーによる温室効果ガス削減は、再生可能エネルギー導入に比べて、直接的かつ早期の効果が期待されている。運輸部門での省エネルギーのため、自動車等輸送機器の効率向上のための技術及び中心市街地での搭乗移動や物流搬送等を動的に行うための技術の開発を行う。また、民生部門での省エネルギーのため、戸建て住宅等のエネルギーを効率的に運用するマネジメントシステムの開発とともに、高性能蓄電デバイス、燃料電池、省エネルギー部材の開発を行う。さらに、将来のエネルギー消費増加の要因になることが懸念される情報通信にかかわる省エネルギーのため、電子デバイス、集積回路、ディスプレイ、入出力機器、光ネットワークの高機能化と省エネルギー技術の開発を行う。

### 2-(1) 運輸システムの省エネルギー技術

#### [中期目標]

輸送機械の二酸化炭素排出量の低減に貢献するため、安全かつ低コストで高エネルギー密度化を実現する電池材料、燃料電池自動車用水素貯蔵技術、輸送機器の軽量化技術、自動車エンジンシステムの高度化技術、市街地移動システム技術の開発を行う。

#### [中期計画]

運輸部門での省エネルギーによる温室効果ガス削減に貢献するため、次世代自動車等輸送機器のエネルギー貯蔵、高効率化技術や新たな運輸システム技術の開発を行う。具体的には、次世代自動車用蓄電デバイスの高性能化、低コスト化につながる材料の開発を行う。燃料電池自動車用に、燃料電池の低コスト化、耐久性の向上に必要な先端的部材の開発と反応解析、信頼性試験等の技術開発を行うとともに、安全な高圧水素貯蔵システムの開発を行う。輸送機器の軽量化のための軽量合金の高性能部材化に向けた総合的な技術開発、低燃費と同時に排気ガス規制を満たす自動車のエンジンシステム高度化技術の開発を行う。上記の輸送機器の効率向上に加えて、運輸システム全体の省エネルギー化のため、情報通信機器を用いた市街地移動システムに関する技術の開発を行う。

#### 2-(1)-① 次世代自動車用高エネルギー密度蓄電デバイスの開発 (IV-1-(1)-④へ一部再掲)

#### [中期計画]

・電気自動車やプラグインハイブリッド自動車等の次世代自動車普及の鍵となる蓄電池について、安全と低コストを兼ね備えた高エネルギー密度電池(単電池で250Wh/kg 以上)の設計可能な電池機能材料(正極材料、負極材料等)を開発する。また、革新型蓄電池系(空気電池等)の実用可能性を見極めるための性能評価を行う。さらに、未確立である蓄電池の寿命検知と診断解析技術の確立を目指し、電池の寿命に最も影響を及ぼす電池材料の劣化因子を確定する。

新規の蓄電池構成材料の開発を加速するため、材料を共通的に評価、解析する技術を開発する。

エネルギー密度500Wh/kg以上の革新型蓄電池の開発を目指し、ハイブリット電解質を利用した二次電池の固体電解質の耐久性を向上させる。さらに、安全性に優れた準固体型及び全固体型のリチウム-空気電池を開発し、単セルでの動作を実証する。

[中期実績]

・正極材料としては、初期平均電圧 3.5V かつ初期容量 250mAh/g の Fe 含有の Li 過剰系酸化物正極材料の開発に成功した。硫黄系正極材料としては 400~700mAh/g の容量を示す有機硫黄材料や金属硫化物材料を開発した。負極材料としては、100 サイクル後でも 1500mAh/g の容量を示す長寿命で耐熱性に優れた SiO 負極を開発した。電解質についてはイオン液体単独組成による 4V 級リチウム電池用電解質の開発に世界で初めて成功した。第 3 期中に開発した正極材料・負極材料により、250Wh/kg を超えるエネルギー密度の単電池が設計可能であることを示した。また、革新型蓄電池系である亜鉛空気電池について、Sbドープ Sn 酸化物の可逆空気極を開発し、充放電サイクル特性を向上させることに成功した。

・未確立である蓄電池の寿命検知と診断解析技術の確立を目指し、電池の寿命に最も影響を及ぼす電池材料の劣化因子の解明に取り組んだ。劣化前後の電極活物質の X 線吸収分光スペクトル等の変化から、正極活物質表面での結晶構造の乱れ度合いに対応付けられるピーク強度の増加が材料の劣化と相関を持つことが分かり、出力劣化度の定量化に資する主要パラメータを抽出した。また、固体 NMR や中性子回折測定もリチウムを精度よく定量化する手法として有効であることを見出した。さらに、電気自動車用単セルについてサイクル試験や保存試験での温度及び電池の充電状態等の条件を変えることで、温度、充電状態、放電深度等の試験パラメータの中で試験温度が特性低下に強く影響を及ぼす劣化因子であることを見出した。性能評価試験で蓄積したデータを JARI 及び東大に提供することで、電池の残存性能を評価するプログラムの構築及び日本電動車両規格の作成に資した。

・世界的シェアを有する国内企業を含む二十数社からなる、革新的な電池材料や評価技術の開発を行うための拠点を構築した。5 種類の電池構成モデルに加えて、4.35V 高電圧電池、Ni リッチ高容量電池の 2 種を基本型の派生評価法として評価法に加え、これらの精査を行うとともに、電池の安全性試験として、圧壊、釘刺し、昇温、過充電の試験条件や観察法などを基本手順書に加えてその測定法の改訂を進め、評価基準書最終版として取りまとめた。

・高エネルギー密度電池(単電池で 250Wh/kg 以上)の設計可能な電池機能材料に関し、正極材料には、リチウム過剰系である  $\text{Li}_{1+a}(\text{Ni}_x\text{Co}_y\text{Mn}_{1-x-y-a})\text{O}_2$ 、負極材料には、シリコンなどを開発した。これらの正極と負極にはそれぞれ大容量を有することを実証し、これらを適切に組み合わせると、単電池で 250Wh/kg 以上のエネルギー密度を有することを示唆した。また、エネルギー密度 500Wh/kg 以上の革新蓄電池となりうるリチウム-空気電池において、負極の安定性、電解液の安定性、空気極の腐食及び電極の高過電圧などの問題を解決しつつあり、新しい概念に基づいて、カーボンフリーな酸化物空気極を開発した。それらを用いて、リチウム-空気電池において、最も厳しい条件であるフル放電とフル充電においても、ある程度安定なサイクル特性を示すことを確認した。更に、より性能を向上させたナトリウムイオン電池、遷移金属フリーな有機蓄電池、ハイブリット電解質型リチウム-空気電池と全固体型リチウム-空気電池など革新型蓄電池も開発している。全固体型のリチウム-空気電池では、単セルで動作することを実証した。

## 2-(1)-② 燃料電池自動車用水素貯蔵技術の開発

[中期計画]

・水素貯蔵材料の開発を目的として、構造解析技術、特に水素吸蔵状態を「その場観察」できる手法(「その場」X線・中性子回折、陽電子消滅、核磁気共鳴等)を開発する。この技術を用いて、材料の水素貯蔵特性と反応機構を解明し、得られた知見から、高い貯蔵密度(重量比5%、50g/リットル)と優れた繰り返し特性を有する材料の設計技術を開発する。

安全な高圧水素利用システムを開発するため、水素材料強度データベース及び水素破面と組織データベースを構築する。また、燃料電池車や水素ステーションの高圧水素容器開発指針、水素輸送技術開発指針を関連業界に提案し、評価設計手法、及び実証実験手法を開発する。さらに、水素関連機器の開発促進と安全性向上に寄与するために、水素と高分子材料の関係や水素とトライボロジーの関係を解明するとともに、その利用普及を進めるため、水素基礎物性データベースを構築する。

[中期実績]

・燃料電池自動車用水素貯蔵技術として、高い貯蔵量(5 重量%)と優れた繰り返し特性を有する材料の設計

技術の開発に取り組んだ。まず、水素吸蔵状態を「その場観察」できる構造解析技術の確立を国内外の研究機関(米国ロスアラモス研、J-PARC、SPring-8)と連携して行った。その結果、放射光 X 線及び中性子全散乱実験で水素吸蔵過程の時間変化データの測定に成功した。また、陽電子消滅法や核磁気共鳴でも「その場」測定が可能な装置環境を開発した。高い貯蔵量(5 重量%、50g/リットル)の材料開発では、ファイバー状の Mg で 300°C 以上の高温で目標を達成した。また、ナノメートルスケールの特殊な金属組織を有する薄膜試料の作製を試み、反応温度の低温化を目指した。水素化物の不安定化に成功し、200°C 程度まで反応温度を低下できる見込みを得た。V 系材料では、材料劣化の起源が欠陥の一種である転位の蓄積であることを見出した。合わせて、格子間原子の添加により機械的特性を変化させることで、劣化の起源である水素吸蔵に伴う欠陥の導入を抑制することを試みた。その結果、繰り返しに伴う吸蔵量の劣化を半減することに成功し、繰り返し特性向上のための方策を見出した。

・水素用鋼材について、120MPa の高圧水素下における疲労試験などを行い、水素材料強度データ及び水素破面と組織データの測定・解析を行った。これらのデータベースの構築を進めることで、国際標準策定の基礎資料として提供するとともに国内企業等に提供し、高圧ガス規制見直しや水素関連機器の認定取得に貢献した。また、実利用部品の破損解析を行い、健全性調査手法、破損解析手法を開発した。Oリングなどに使用される高分子材料に関して、高圧水素による物性や化学構造への影響の評価を行うとともに破壊挙動に関する知見を蓄積し、安全性向上に寄与する Oリングの組成および溝設計の手法を示すとともに実機評価も進め、設計基準策定の見込みを得た。また、実部材およびフッ素系等樹脂材料の高圧水素中でのトライボロジーデータなどを取得し、水素中トライボロジーのデータベース(トライボアトラス)として整理した。さらに、高圧水素領域(100MPa、500°Cまで)での、PVT データ、粘性係数、熱伝導率の測定を行い、ガス領域で適用可能な状態方程式を開発することで水素熱物性データベースを整理し、国内企業等に提供した。

・燃料電池自動車や水素ステーションなどの水素関連機器の低コスト化に寄与できると期待されている、Cr-Mo 鋼などの破壊靱性試験方法を検討した。115MPa までの高圧水素ガス中でのき裂進展試験などの破壊靱性試験の実施と破面観察を行い、水素材料強度データベース及び水素破面と組織データベースの構築に貢献した。さらに、き裂進展開始試験結果について日米で比較を行い、高圧水素容器用材料の破壊靱性評価方法の一つとして国際標準化の可能性を見出した。また、走査型プローブ顕微鏡を用いた水素脆化初期き裂の観察方法を開発し、オーステナイトステンレス鋼や二相ステンレス鋼などのき裂の生成・成長メカニズムについて解明を進めた。圧力や亀裂などの検出が可能なセンサシステム用材料の検討を進め、圧電特性評価方法の開発や高圧水素ガス中での電気的特性の評価を試み、チタン酸ストロンチウム単結晶が水素圧力センサとして利用できることを明らかにした。

## 2-(1)-③ 軽量合金による輸送機器の軽量化技術の開発

### [中期計画]

・省エネルギーに有効な輸送機器の軽量化を可能にするため、マグネシウム等の軽量合金の特性向上を図るとともに、金属材料の耐食性試験(JISZ2371)を基に規定される塩水噴霧/高温乾燥/高温湿潤の複合サイクル試験において300時間以上耐久可能な低コスト表面処理技術を開発する。また、強度と剛性を低下させずに常温プレス加工性を改善し、高い比強度(引張り強さ/比重:160MPa 以上)とアルミニウム合金並みの成形性を示すマグネシウム合金圧延材を開発する。

### [中期実績]

・省エネルギーに有効な輸送機器の軽量化を実現するため、実用金属中最軽量の Mg 合金を中心とする軽量金属材料の特性向上に関する技術開発を実施した。Mg 合金については、産総研が開発した難燃化技術を基盤技術として、工業的な利用を加速するため成形性の改善を中心に研究を行い、集合組織制御技術と連携した新たな成形技術を開発できた。その結果、比強度(引張り強さ/比重)162MPa で Al 合金並みの高い成形性を示す AZ61 マグネシウム合金板材を開発した。さらに、Mg 合金の耐食性を改善するため、JISZ2371 に準拠した塩水噴霧/高温乾燥/高温湿潤の複合サイクル試験において 300 時間以上の耐久性を有する低コスト表面処理技術を開発した。さらに、Al 合金においても溶解・凝固現象を利用した組織微細化技術や欠陥を低減した加工技術を開発し、実用化に向けた課題に取り組むことができた。これらの研究成果を実用化するため、民間企業との共同研究を実施するとともに、技術研究組合(ISMA)へ参画した。

## 2-(1)-④ 自動車エンジンシステムの高度化技術

#### [中期計画]

・新たな排出ガス規制値を満たしつつ、燃費の向上を目指し、新燃料と駆動システムの最適化、燃焼制御技術の向上、排出ガス浄化技術の高度化により、超低環境負荷ディーゼルエンジンシステム、及びこれらを評価する計測技術を開発する。また、低品質燃料から低硫黄・低芳香族燃料(硫黄分1~2ppm 未満)や高H/C(水素/炭素原子比)の高品質燃料を製造する技術等を開発し、市場導入に必要な燃料品質等の評価を行う。

#### [中期実績]

・新燃料と駆動システムの最適化、燃焼制御技術の向上、排出ガス浄化技術の高度化に関して、種々の要素技術および関連する計測技術を開発した。具体的には、燃費の向上や排ガス低減に適した新燃料のエンジン燃焼条件の解明や各種ディーゼル燃料の噴霧挙動の解析を行った。また燃料由来 NO<sub>x</sub> 還元触媒、酸化触媒、多機能一体型触媒コンバータ等の排出ガス浄化技術を開発するとともに、EGR デポジット生成の一要因を明らかにした。また、X線噴霧計測技法など、超低環境負荷ディーゼルエンジンシステム開発に資する新たな計測技術を開発した。さらに、新燃料のひとつであるジメチルエーテル(DME)の品質に関して、種々の分析法や不純物が潤滑性に与える影響などを検討し、DMEの国内外における標準化策定に貢献した。

・低品質燃料から低硫黄・低芳香族燃料(硫黄分1~2ppm 未満)や高H/C(水素/炭素原子比)の高品質燃料を製造する技術等の開発の目標に対して、高温反応域で安定的に低硫黄(S<1~2ppm)軽油を製造できるCoMo系軽油脱硫触媒を開発し、石油系燃料の高品質化技術を確立した。また、食品産業等から大量に排出され、第1世代BDFの原料として使うことのできないトラップグリース等の高酸価低品質廃油脂類から、パラフィン系高H/Cの炭化水素燃料製造を可能とする高い脱酸素能力を有しかつ安定した活性を示す脱酸素触媒を開発し、未利用低品質原料の輸送用高品質燃料化基盤技術を確立した。平成23年度に低硫黄軽油を製造用脱硫触媒技術、平成25年度に水素消費量低減型触媒および選択的異性化、分解触媒をそれぞれ開発し、平成26年度には水素消費量低減のため担体の最適化を行い、脱酸素および脱硫活性の耐久性向上に有効な指針を得た。

## 2-(1)-⑤ 市街地移動システム技術の開発

#### [中期計画]

・低炭素社会実現に貢献する都市計画の1つであるコンパクトシティ構想に貢献するための技術として、中心市街地での搭乗移動や物流搬送等を自律的に行うための研究開発を行う。具体的には、パーソナルモビリティによる市街地における長距離自律走行(3km以上)と協調に基づく高効率化、施設等で試験運用可能なレベルの自律・協調搬送システム、高効率な搬送経路計画のための市街地等広範囲環境情報取得技術を開発する。

#### [中期実績]

・低炭素社会実現に貢献する都市計画の1つであるコンパクトシティ構想に貢献するための技術として、中心市街地での搭乗移動や物流搬送等を自律的に行うための研究開発を実施した。移動体としては自律走行車いすを主に用い、実環境における実証試験を実施した。自律走行技術に関しては、つくばモビリティロボット実験特区を活用することで、つくば市内の遊歩道上においてレーザレンジセンサや画像センサで生成した3次元環境ベースの高精度自己位置推定技術による長距離自律走行(3km以上)を実現した。自律・協調搬送システムとしては、車いす型などの連結型モビリティを開発し、相対・絶対位置情報を活用した追従・隊列走行制御技術等に関して、市街路上での実証試験により確認した。市街地等広範囲環境情報取得技術に関しては、3次元環境を含む各種センサ情報の送受信システムとクラウドDBを統合したシステムを構築し、つくば市内の半径1km以内程度の遊歩道上の各種データをクラウド上に蓄積・利用可能にした。それにより、高効率な走行経路計画によるナビゲーション技術を開発した。

## 2-(2) 住宅、ビル、工場の省エネルギー技術

#### [中期目標]

戸建て住宅等の電力設備を効率的に運用し、省エネルギーを実現する電力マネジメント技術の開発を行うとともに、分散型蓄電デバイスの高エネルギー密度化、定置用燃料電池の高効率化技術の開発を行う。また、

未利用熱エネルギーの高度利用技術、省エネルギー性能に優れた建築部材及び家電部材の開発を行う。

[中期計画]

民生部門での温室効果ガス削減に貢献するため、住宅、ビル、工場等での省エネルギー技術の開発を行う。具体的には、戸建て住宅等におけるエネルギーの負荷平準化に不可欠なエネルギーマネジメントシステム、蓄電デバイスである二次電池及びキャパシタの高エネルギー密度化技術の開発を行う。また、定置用燃料電池の耐久性と信頼性の向上に資する基盤技術と、燃料多様化、高効率・低コスト化のための新規材料、評価技術の開発を行う。未利用熱エネルギーの有効利用のため、熱電発電システムの発電効率、信頼性の向上や長寿命化のための材料技術の開発を行うとともに、材料及び発電モジュールの評価方法や寿命予測手法の開発を行う。加えて、省エネルギーと快適性の両立を目的とした調光窓材、外壁材等の建築部材及び家電部材の開発を行う。

## 2-(2)-① エネルギーマネジメントシステムのための技術開発（I-1-(3)-①を一部再掲）

[中期計画]

・戸建て住宅に関して二酸化炭素削減率20%の達成を目標として、戸別・集合住宅又はビル・地域単位でのエネルギーを効率的に運用するためのエネルギーマネジメント技術を開発する。重要な要素技術として、負荷平準化に不可欠な高エネルギー密度化を可能とする蓄電デバイス(二次電池で250Wh/kg、キャパシタで18Wh/kg)を開発する。また、電力マネジメントに必須の電力変換器について、高密度化、耐高温化のためのダイヤモンド半導体等新材料を含む電力変換デバイスを開発する。

電力計に内蔵される電力線通信機器(PLC)を開発し、家電や太陽光発電装置等との通信、制御を実現することにより、PLCによるエネルギーマネジメントの有効性を実証する。また、発電システム効率の5%向上を図るため、太陽光発電パネルのメンテナンス時期と故障を検知し、パネル単位での制御を可能にする直流用PLCを開発する。

[中期実績]

・エネルギーを効率的に運用するためのエネルギーマネジメント技術を開発した。エネルギーマネジメント技術開発のため、特に変動が激しく予測が困難とされる住宅のエネルギー需要について、約4年間にわたりエネルギー消費量を計測し、エネルギー需要データベースを構築し、需要データの解析を行った。住宅エネルギーネットワークの統合マネジメントシミュレーションモデル、柱上変圧器下流の複数住宅を対象とする、太陽光発電、太陽熱温水器、ヒートポンプ等から構成される住宅用エネルギーネットワークの統合マネジメント実験施設を構築した。それらを用いてエネルギー融通を考慮した住宅マネジメント技術の開発を行い、住宅に分散エネルギー源を設置してマネジメントすることで、従来の住宅と比較して20%以上の二酸化炭素排出削減が可能であることを実証するとともに、ネットワーク単位での削減についても確認した。また、太陽光発電による配電線電圧を抑制するためのインバータを用いた無効電力制御、住戸に分散設置された蓄電デバイスの劣化コストも考慮した制御について、制御手法の提案・構築とモデルによるシミュレーションや実験によって動作と効果の検証を行った。

・有機系電解液を用いるカーボンナノチューブキャパシタにおいてセル大型化を実現し、大容量・長寿命キャパシタデバイス(16Wh/kg、約16年)の開発に成功した。水系キャパシタにおいて大容量を示す窒素含有ポリマー系電極材料と膨張化炭素繊維の開発に成功し、水系キャパシタとして画期的な10Wh/L級デバイスの実現可能性を示した。ハイブリッド化対応可能な電極としてMgO 鋳型メソポーラス炭素(MgO-MPC)を調製し、ハイブリッドキャパシタの正負極として既存材料より大きな比容量を発現することを明らかにした。また高速充放電下での電解液イオンの挙動を解析し、メソ孔構造がレート特性及び低温特性に優れたキャパシタ電極の開発に極めて重要であることを示した。以上の知見をカーボンナノチューブキャパシタの電極製造技術に反映させ、期末目標18Wh/kgを上回る高性能・高信頼性の電気化学キャパシタ開発技術を確立した。二次電池に関し、エネルギー密度300Ah/kg以上を示す正極材料を新規開発した。炭素微小球を負極として組み合わせた際の理論エネルギー密度は260Wh/kgで、中期目標250Wh/kgを達成した。

・ダイヤモンドの持つ高い絶縁体圧とともに、ダイヤモンド特有の電子物性であるホッピング伝導、負性電子親和力を活用した新しいパワーデバイスの提案、実証を進めた。特に負性電子親和力を活用した真空パワースイッチを提案し、10kVスイッチング及び複数素子の並列動作による大容量化が可能であることを実証した。ホッピング伝導の活用に関してはその電子物性・物理現象の定式化をすすめ、ダイヤモンド半導体デバイス設計の基礎を確立した。GaNに関して、分極構造を利用したp型n型半導体特性の実証を行い、集積化IC

を目標に同一基板上への p 型 n 型同時混載トランジスタ集積化の実証を行うとともに、室温から極低温までの安定性を確認した。電力変換器の高密度化、耐高温化に関してダイヤモンドデバイスの高温度動作確認を行うとともに、電力変換器冷却モジュールの最適構造設計・沸騰冷却による高抜熱化を行うことで、高パワー密度化を進めた。次世代社会インフラを支える双方向絶縁型電力変換器において、1MVA 級 10kHz 動作を実証した。また、高周波絶縁トランス部は、内鉄型構造において従来体積比 1/3 の小型化を達成した。

・独自の高ノイズ耐性の PLC を考案し、その実装としてスマートメータ向きキロヘルツ帯 PLC と個々の太陽光パネルの発電状況をモニタする直流用 PLC の二つを開発した。キロヘルツ帯 PLC に関して、大規模集積回路(LSD)化可能な段階まで PLC 通信装置を完成させ、電力量計や家電制御(HEMS)機器への内蔵を想定したノイズ耐性試験や長距離伝送試験を行い、通信手段としての実用性を示した。また、これによるエネルギーマネジメントの実験を通じて、その有効性を実証した。直流用 PLC に関して、小型化に成功した通信装置を、太陽光発電パネルの各端子箱に組み込み、パネル単位での発電状況モニタリングが可能であることを実証した。当該技術の基本特許が成立し、技術移転先での製品化も達成した。また、発電事業者等と連携してクラウドを活用した太陽光発電パネルのモニタリングシステムを構築し、その効果を商用メガソーラーにて実証実験を行った。不具合検出結果を活かした適切なパネルメンテナンスと組み合わせることで発電ロスを解消し太陽光発電システムの発電効率を 5%向上可能なことを確認し目標を達成した。

## 2-(2)-② 燃料電池による高効率エネルギー利用技術の開発

### [中期計画]

・固体酸化物形燃料電池(SOFC)の高耐久性、高信頼性(電圧劣化率10%/40,000h、250回のサイクル)に資するため、ppm レベルの不純物による劣化現象及び機構を解明し、その対策技術を開発する。また、燃料多様化、高効率・低コスト化のための新規材料、評価技術を開発する。

50%を超える発電効率を目指し、90%以上まで燃料利用率を向上させる技術、排熱有効利用技術等の要素技術を開発する。また、SOFC システムからの二酸化炭素回収システムと SOFC を組み合わせたゼロエミッションシステムの性能を評価する。

家庭用燃料電池コージェネレーションの普及のために固体高分子形燃料電池の大幅な低コスト化と高耐久化の両立を目指し、白金使用量を1/10に低減できる電極材料技術を開発する。さらに、アルコールを燃料とするダイレクト燃料電池へ展開できる材料系を開発する。

大きな熱需要が見込まれる建物を対象として、高効率な水素製造技術、貯蔵技術、供給技術、燃料電池等からなるシステムを開発する。

### [中期実績]

・燃料利用率向上時にアノード排ガスリサイクル、熱電素子の利用によりそれぞれ発電効率を 3%、2%程度向上させることが可能であることを明らかにした。またセルスタックの発電出力の温度・流量依存性等を計算できるシミュレーションモデルを開発し、燃料利用率 90%以上を得るためのスタックの温度分布、流量のばらつき許容範囲を計算する手法を開発した。これらにより、アノード排ガスリサイクルを用いたシステムで、発電効率目標である 50%を超える発電効率 50~60%程度が得られることを示した。さらに、二酸化炭素回収型 SOFC システムについて燃料 LNG の冷熱利用による二酸化炭素回収方法を検討し、冷熱利用により回収による発電効率低下がほとんどないシステムが構築できることを明らかにした。

・平成 24 年度までに固体酸化物形燃料電池(SOFC)開発会社 4 社のセルスタックのクロム(Cr)や硫黄(S)など空気流で輸送される ppm レベルの不純物による劣化現象、電解質の伝導度低下などの劣化メカニズムを解明し、第 3 期中期計画での目標である劣化率 10%/40,000h 以下、250 回のサイクル耐久性を達成した。平成 25 年度からは、上記のうち 3 社に新たに 3 社を加えた 6 社のセルスタックについて、劣化率 10%/90,000h 達成へ向け、耐久性迅速評価手法に関する基礎研究を開始した。そこでは、スタック長期耐久性評価、劣化機構解明と加速要因分析、耐久性迅速評価方法の開発を実施し、一体焼成形セルのホウ素(B)被毒など不純物由来の劣化要因の解明、Cr や S 不純物による劣化現象の加速要因分析等を行った。また、燃料多様化、高効率・低コスト化のため、酸化物燃料極やアパタイト系電解質など新規材料の物性を明らかにするとともに、石炭ガス化ガス利用 SOFC の燃料中不純物による燃料極の劣化機構評価技術を開発した。

・固体高分子型燃料電池の低コスト化と高耐久化を目的として、耐酸化性の Magneli 相 Ti4O7 から成る導電性チタン酸化物を担体とした電極触媒技術を開発した。この触媒は高電位下でも安定であるため、加速劣化



試験後では白金合金化/高分散化による初期活性の向上とあわせて従来触媒の約 10 倍の質量活性を実現し、白金使用量を 1/10 にできることを示した。また、アルコールを燃料とするダイレクト燃料電池に関しては、既知の錯体触媒に比べ大幅に低い過電圧でエタノールを酸化できる錯体を開発した(貴金属原子当たりの電流は 0.4V において従来 PtRu 触媒の 40 倍以上)。さらに、安全性の高い燃料として期待されるジアミノウレア(DAU)を効率よく酸化できる鉄フタロシアニン触媒を開発し、アルカリ膜形ダイレクト DAU 燃料電池として機能することを確認した。

・高純度水素供給システムのための CO シフト反応触媒に関して、安価な Cu 系の触媒と、その担体としての 5wt%Nb 添加 CeO<sub>2</sub>を開発した。160°C・5vol%CO<sub>2</sub> 存在下での条件にて、従来触媒とほぼ同等の反応速度を達成し、貴金属低減につながる技術開発に成功した。高容量水素貯蔵材料としていくつかの Mg 系合金を開発し、可逆的水素貯蔵容量として 4wt%程度を達成した。また水素貯蔵システム(容器)としての実用時の課題を明らかにするため、水素貯蔵合金の CO 被毒サイクル試験を行い、いくつかの合金には 1ppmCO 下、容量劣化が 1%以下/100 サイクルの耐久性があることを確認した。さらに大気暴露試験評価により、合金表面への化学修飾・高分子による保護など材料表面の化学処理が安定かつ安全な利用に効果があることを実証した。

・大きな熱需要が見込まれる建物を対象とした高効率な水素製造技術、貯蔵技術、供給技術、燃料電池等からなるシステムの開発に対し、民間企業と共同で水電解-燃料電池一体型セルを開発すると共に、高圧ガス保安法に則した横置型の水素吸蔵合金タンクを開発した。水電解-燃料電池一体型セルは水電解性能約 4kW、燃料電池性能約 0.7kW の実規模で民生用としては他に類を見ない規模のシステムの開発に成功した。また、水素吸蔵合金タンクに関しては水素吸蔵・放出連続運転での合金反応熱回収率を約 45%から約 70% 以上へと大幅に引き上げることに成功すると共に低コスト化も実現した。これらを組合せた統合型水素エネルギー利用システムを世界で初めて構築し評価を行った。その結果、現時点での総合効率は水電解-燃料電池連続運転で 62%、水電解-燃料電池個別運転で 68%であるが、各要素技術の改善により総合効率 70%の目標値を達成できる見込みであることを確認した。

## 2-(2)-③ 未利用熱エネルギーの高度利用技術の開発

### [中期計画]

・熱電発電システムの経済性の改善に資する発電効率向上や高耐久、長寿命化のための材料技術を開発する。例えば、発電効率 13%以上の実現に必要な要素技術を開発するとともに、材料及び発電モジュールの評価方法や寿命予測手法を開発する。

未利用熱から 80~200°C の高温水や蒸気を成績係数(COP)3 以上の効率で生成し、需要に適應した供給を可能とするシステムを目指し、作動媒体の圧縮作用と吸収作用を併用するヒートポンプ技術やカプセル型の潜熱蓄熱及び熱輸送技術を開発する。また、常温近傍で COP5 以上の冷暖房及び給湯を可能とする直膨式の地中熱交換の基盤技術を開発する。

### [中期実績]

・高い発電効率を実現する新規熱電材料を開発し、優れた材料については、熱電モジュールを試作し、発電試験という形で性能を実証した。クラスレート材料を用いた世界初の熱電モジュールでは 7.5%の変換効率を実現し、ナノ構造を制御した鉛テルル系材料を用いた熱電モジュールでは最大 11.2%の発電効率を実現した。熱逃げの効果を補正すると、鉛テルル系材料が実現した発電効率は第 3 期中期計画の目標値である 13%を超える最大 14.2%であり、発電効率 13%の熱電モジュールの開発に一定のめどを得た。熱電モジュールの評価技術については、より精密な内部抵抗測定が可能な AC/DC 併用法や 500°C 級大気中熱電モジュール評価装置などを開発した。海外機関と熱電モジュール評価手法の共同調査を実施し、発電効率のクロスチェック等を行った。温度一定試験や熱サイクル試験によるモジュールの耐久性・寿命評価の手法についても新しい解析法を提案した。また、熱電モジュールを複数積層し熱交換器と一体化した 10W 級発電ユニットを設計・試作した。温泉や工場排熱等の未利用熱に適用し発電実証試験を実施することで、熱電発電システムの実用化検討を進めた。

・吸収圧縮ハイブリッドヒートポンプの線図解析、サイクル実験、特性評価を行い、低圧力比、低作動圧力でも目標の COP3 以上で動作する高温ヒートポンプが構成可能なことを確認し、加熱と冷却の需要が対になる産業プロセスでの熱交換に効果が発揮されることを明らかにした。要となる凝縮器/蒸発器については新規の流路構造を考案し、吸収圧縮ハイブリッドサイクルの高温用ヒートポンプを設計・検証し、低圧力比および低作

動圧力で運転可能なことを検証した。また、80～200℃の温度帯で使用可能な多層樹脂カプセル/金属カプセル型の潜熱蓄熱体を開発して、従来の薄肉樹脂カプセルに近い熱交換特性が得られることを明らかにし、同温度帯での蓄熱/熱輸送システムの設計技術を開発した。さらに、直膨式地中熱交換の実験結果から、冷媒圧力降下がヒートポンプ性能に及ぼす影響を精査し、また冷媒の相変化挙動を考慮した圧力損失の理論計算と実験結果を比較することで、地中熱交換器長さや圧力損失の関連づけが可能であることを確認し、COP5以上の冷暖房を可能とする直膨式地中熱交換の設計要件の定量的検討を可能とし、直膨式の地中熱交換の基盤技術を開発した。

## 2-(2)-④ 省エネルギー型建築部材及び家電部材の開発

### [中期計画]

・省エネルギーと快適性の両立を目的とした建築部材を開発する。具体的には、調光窓材、木質材料、調湿材料、外壁材等の機能向上を図るとともに、実使用環境での省エネルギー性能評価データを蓄積する。調湿材料については、相対湿度60%前後での吸放湿挙動に優れた材料を内装建材に応用する技術、調光窓材については、透明/鏡状態のスイッチングに対する耐久性を10,000回以上(1日当たりの透明/鏡状態のスイッチングを1回とした場合、20年以上に相当)にする技術を開発する。

照明の省エネルギー化による希土類蛍光ランプの需要増に対応し、Tb(テルビウム)、Eu(ユウロピウム)の使用量を40%低減するため、ランプの光利用効率を30%向上させるガラス部材や蛍光体の使用量を10%低減できる3波長蛍光体の分離、再利用技術を開発する。

### [中期実績]

・調光窓材については、透明/鏡状態のスイッチングに対する耐久性を10,000回以上にする技術の実現が目標であったが、これを達成したうえで、平成26年度に透明時の透過率70%以上を達成し、当初は期待していなかった自動車などの輸送機器の空調負荷の低減への可能性が判明した。調湿材料については、相対湿度60%前後での吸放湿挙動に優れた材料を内装建材に応用する技術の実現を目標とし、相対湿度50%から70%における調湿能力を検証した結果、ハスクレイを用いた試験品は市販調湿タイルよりも倍以上の吸着能力を有していることが確認された。木質材料については、形状安定性の実現や長尺もの、さらには薄肉材の開発を通して多様な応用をめざし、複数の企業との共同研究を実施した。外壁材については、保水セラミックスの住宅への実用化を目指し、形状の制御性並びに耐凍害性の向上を図り、凍結融解50回に耐える成果を得た。

・蛍光ランプ用保護膜に用いることのできる高輝度発光する蛍光シリカ、ガラスから光取り出し効率を向上させることのできる凹凸膜を開発し、あわせてTb、Eu単位量あたり30%以上ランプの光利用効率が向上することを示した。また高磁場勾配磁選法により、廃蛍光体を分離する技術を開発し、10%以上希土類蛍光体の使用量の低減が可能であることを示した。また、廃蛍光体の分離技術は当初想定していた工程内の廃蛍光体だけでなく、市中から回収された廃蛍光体にも適用でき、当初想定したより大幅な低減が可能であることを明らかにした。また、蛍光体の分離技術の実用化に向けての課題も明確にし、本期間中の目標を達成した。

## 2-(3) 情報通信の省エネルギー技術

### [中期目標]

情報通信機器の省エネルギーに貢献するため、電子デバイス、入出力機器の省エネルギー化技術の開発を行う。また、大容量情報伝送技術、情報処理システムの高効率化技術の開発を行う。

### [中期計画]

エネルギー消費の増加要因となることが懸念される情報通信の省エネルギー技術の開発を行う。具体的には、電子デバイス及び集積回路の省エネルギー技術、ディスプレイ及び入出力機器の高機能化と省エネルギーのための複合構造光学素子等の技術開発を行う。また、大容量情報伝送の省エネルギー化のための光ネットワーク技術の開発や、情報処理システムの省エネルギー化に資するソフトウェア制御技術の開発を行う。特に、コンピュータの待機電力を1/5に削減可能な不揮発性メモリ技術や既存のネットワークルータと比べてスループットあたり3桁消費電力の低い光パスネットワークによる伝送技術の開発を行う。

### 2-(3)-① 電子デバイス及び集積回路の省エネルギー化

#### [中期計画]

・情報通信機器を構成する集積回路デバイスの低消費電力化技術を開発する。具体的には、処理待ち時間に情報を保持するために必要な電力が1/10以下となる SRAM、1V 以下で動作可能なアナログ回路、データセンタのストレージ用強誘電体フラッシュメモリ、無線ネットワーク用途のモノリシック集積デバイス等を開発するとともに、3次元 LSI 積層実装技術を活用した超並列バス・マルチコアアーキテクチャーと高熱伝導構造の採用による低消費電力 LSI 実装システムを開発する。

コンピュータの待機電力を1/5に削減可能にするために、スピントロニクスとナノテクノロジーを融合したナノスピントロニクス技術を用い、DRAM や SRAM の置き換えを可能とする不揮発性メモリ技術を開発する。

コンピュータの消費電力を削減するために、半導体ロジックの動作電圧を0.5V 以下に、不揮発性メモリの書き込みエネルギーをビット当たり0.5nJ 以下に低減させることを目指して、ナノレベルの新デバイス技術及び計測技術を開発する。

#### [中期実績]

・14nm 技術世代以細の FinFET における特性バラツキの主要因が、ゲート金属材料の仕事関数バラツキであることを世界に先駆け提唱した。また、本質的に仕事関数バラツキを有さない新規なアモルファス金属ゲートを開発し、特性バラツキが世界最小の FinFET 試作に成功した。また、自在に特性制御が可能な 4 端子 FinFET を開発、該デバイスを用いた高信頼かつ高性能 SRAM を提案した。新提案 SRAM が、通常 CMOS を用いた SRAM と比較して、セル面積増加無、動作余裕 1.5 倍、待機時消費電力が 1/30 となることを確認した。またさらに新規な 4 端子 FinFET を用いて、0.7V までの低電圧動作を可能にする新規オペアンプを提案し、動作を実証した。0.8V 以下の極低電圧で動作可能で、かつ微細化に適した新規アナログ演算増幅器の試作に成功している。加えて、動作電圧 0.5V 以下を目指し、電流立ち上がり(S 係数)が MOSFET の理論限界(60mV/桁)以下となるトンネル FET の作製プロセスを確立した。

・データセンタのストレージ用強誘電体フラッシュメモリの基盤技術確立を目標として強誘電体ゲートトランジスタ(FeFET)の素子微細化、集積回路化、量産化技術の 3 つの開発を行った。1 つ目の FeFET の素子微細化では、作製プロセス開発と特性向上のための金属および強誘電体材料の開発を行った。ゲート長 100 nm の FeFET で静的メモリウィンドウ 1.1V、書き換え耐性  $1E+08$  回以上、保持特性  $4E+05$  秒の良好な特性を実現した。ピスマス層状構造ペロブスカイト型強誘電体を用いて良好な電気的特性の確認された FeFET の中で世界最小である。2 つ目の FeFET の集積回路化では、5  $\mu$ m ゲート長の 64kb NAND メモリアレイを試作評価して 2 値データの良好な書き換え、読み出し、保持動作を実証した。3 つ目の FeFET の量産化技術では、量産対応 MOCVD 装置を用いた強誘電体成膜の条件最適化を行った。ウェハ面内 90 個の FeFET の作製評価でメモリウィンドウに対して 6 シグマ以内の小さい値分布を確認し、MOCVD 成膜プロセスの採用により面内ばらつきの少ない均質な FeFET の量産が可能であることを実証した。

・無線ネットワーク用途のモノリシック集積デバイスについて、シリコン基板上にゲルマニウムを介して、高品質ガリウムヒ素半導体デバイスをモノリシックに形成する新技術を開発した。6 インチシリコンウェハー上に形成したデバイス領域に貫通転位が全く見られないヘテロバイポーラトランジスタ(HBT)において、ガリウムヒ素基板上に形成した HBT と同等性能の電流増幅率/ベースシート抵抗比 0.42 を確認し、単体デバイスとしてはデバイスメーカーへ技術移転可能なレベルであることを実証した。pn 接合については GaAs 基板上での素子特性と同等の性能を得た。画像処理を利用したマイクロプローブを用いた計測と統計処理を行う自動計測システムを構築して 540 素子の PIN ダイオードについて特性評価を行い、62%の歩留まりであることを確認した。

・並列バスインターフェース回路を適用した 3 次元 LSI 積層応用システムについて、バウンダリスキャンテスト技術、微細ピッチシートプローブ技術、高密度コンデンサ内蔵インターポーザ技術、電源ノイズ評価用ノイズ波形計測回路技術に基づいて、基本システム設計を進めた。ヒートスプレッド層、マイクロ流路放熱構造を組み込んだ 3 次元 LSI 積層構造について、発熱分散を考慮した LSI 回路の設計・シミュレーション解析技術の開発とホットスポット放熱特性評価 TEG デバイスの試作・評価を進めた。

・産総研で開発された結晶性 MgO トンネル障壁を有する磁気トンネル接合素子をベースにして種々の磁性薄膜材料の探索を行い、不揮発性メモリ・スピン RAM の開発に取り組んだ。磁気特性としては高垂直磁気異方性と低飽和磁化が必須であり、さらに優れた磁気抵抗特性(高 MR 比、低抵抗)ならびに半導体プロセスとの高い親和性(高い熱処理温度耐性)も兼ね備える必要がある。産総研では、Co 系規則合金をベースとする人工格子薄膜を中心に高い垂直磁気異方性を有する磁性薄膜の研究を行い、磁気抵抗特性と熱処理温度

耐性を検討した。さらに、磁界を用いず電流によりメモリの書き換えを行うスピントルク反転特性を調べ、書き込み電力の評価もおこなった。その結果、11 Merg/cc の高い垂直磁気異方性、約 150%に達する高 MR 比および  $5 \Omega \mu\text{m}^2$  以下の超低抵抗を達成した。さらに、 $350^\circ\text{C}$  を超える高い熱処理温度耐性も実現することができた。スピントルク反転においては、書き込み電圧 0.2 V 以下、書き込みエネルギー 0.02 nJ 以下の超低電圧書き込みに成功した。

・第 3 期中期計画においては、従来の半導体ロジックの低電圧限界を打破しつつ、かつ、半導体量産プロセスに適用可能な新原理トランジスタとして silicon-on-insulator (SOI) 平面型トンネルトランジスタ、平行平板型トランジスタの提案と実証を行った。前者ではシリコン系 TFET としては世界最高性能の 21 mV/decade の急峻性実証に成功するとともに、後者ではトンネルトランジスタの CMOS インバーターの動作に成功し、低電圧ロジックとしての可能性を実証することができた。さらに、InAs や Sb 系 III-V 半導体を用いた次々世代新原理トンネルトランジスタ、インパクトイオン化 MOS などの基本プロセスの構築に成功した。また、デバイス実証に留まらず、トンネルトランジスタの TCAD モデル、及び回路性能予測のコンパクトモデルを構築し、極低電圧 CMOS の基本技術を体系的に開発することに成功した。

・希土類酸化物の中でも高誘電率ゲート絶縁膜材料として有望な  $\text{La}_2\text{O}_3$  および  $\text{CeO}_2$  につき、大面積化に適した薄膜形成プロセスを開発した。 $\text{La}_2\text{O}_3$  については、シクロペンタジエニル錯体を原料として原子層成長 (ALD) を実現するための温度条件や原料供給シーケンスを明確化した。 $\text{CeO}_2$  については、アルコキサイド錯体の熱分解反応を利用した化学的蒸着法 (CVD) により、高誘電率薄膜を均一かつ高速に形成できることを示した。さらに、 $\text{La}_2\text{O}_3$  について、 $\text{MgO}$  や  $\text{CeO}_2$  との積層構造を形成することにより、電界効果トランジスタにおける等価酸化膜厚の削減や移動度の向上に成功した。また、高温熱処理や水素プラズマ処理によるリーク電流低減を実証した。これらの結果、物理的蒸着法による膜に比べて遜色ない電気特性が実現され、量産装置が備えるべき装置仕様が明らかとなった。

・iPCM と名付けた超格子材料を用いた相変化メモリにおいて、LEAP や GNC とも連携しながら、第一原理計算等も駆使してデバイス構造等の最適化を進めて電流・電圧特性の改善を図り、0.15V 以下での動作を実証した。メモリ動作時のエネルギーは、0.01nJ 以下を達成した(合金型と比較して 1/10 以下の省エネを達成)。また、 $\text{SiTe}/\text{Sb}_2\text{Te}_3$  の超格子構造が Si のスイッチングで相転移することを示し、実際にこの超格子がスパッタ成膜装置で形成できることを示した。また、超格子型の相変化材料がトポロジカル絶縁体となることを見出し、新機能デバイスへの展開が進んだ。ホール効果や光磁気 Kerr 効果の測定から、超格子相変化材料のスピンの磁気特性を確認し、この特性が (GeTe) 層内の  $\text{-Te-Ge-Ge-Te-}$  の空間反転対称の破れで発現することを発見した。また、超格子と強磁性体の新構造膜で、強磁性体の偏極スピンをトポロジカル絶縁体に注入し、室温でのスピン蓄積に成功した。ナローバンドギャップの外部制御性を利用した THz 波デバイスに向けた特性評価・解析を進め、超格子が合金と全く異なる特性を持つことを確認した。

・ナノレベルの新デバイス技術及び計測技術、より具体的には金属と酸化物からなる界面の酸素欠損分布を精密に制御することにより、不揮発性メモリの書き込みエネルギーをビット当たり 10pJ 以下に低減させることに成功した。

## 2-(3)-② ディスプレイ及び入出力機器の省エネルギー化

### [中期計画]

・ディスプレイ及び入出力素子作製技術の高度化のための省資源、低消費電力製造プロセスとして、ナノプリント、ナノモールド法等のデバイスの低温形成、印刷形成技術を開発する。これを用いて、 $10\text{cm}^2/\text{Vs}$  以上の電荷移動度を有する塗布形成半導体、 $150^\circ\text{C}$  以下の低温焼結で  $7\text{MV}/\text{cm}$  以上の絶縁耐圧を示す塗布形成絶縁層及び  $10-6 \Omega\text{cm}$  台の抵抗率を示す塗布形成導電材料の開発や、大面積パターニング技術の開発により、超低消費電力(1インチあたり 1W 以下)薄型軽量ディスプレイの実現を可能にする技術や印刷光エレクトロニクス素子を開発するとともに、情報家電の小型、省エネルギー化に向けた複合構造光学素子を開発する。

### [中期実績]

・ディスプレイ及び入出力素子作製技術の高度化のための省資源、低消費電力製造プロセスとして低温低損傷形成、印刷形成技術の開発を行った。移動度  $30\text{cm}^2/\text{Vs}$  を示す半導体薄膜室温塗布形成技術、 $100^\circ\text{C}$  の加工温度で耐圧  $14\text{MV}/\text{cm}$  台を示す塗布型絶縁膜、 $8 \mu\Omega\text{cm}$  以下の抵抗率を示す銅配線印刷形成技術、パワーファクター  $470 \mu\text{W}/\text{m}^2\text{K}$  を示すインク化可能な熱電変換材料技術などの省エネルギープロセス基盤

技術の開発に成功した。上記技術を適用し、40インチ相当のフルHDフルカラー有機ELディスプレイパネルにおいて1インチ当たり1W以下となる消費電力37Wの低消費電力大型有機ELディスプレイ製造基盤技術を開発するとともに、80cm×160cmサイズの大面積フレキシブル圧力センサアレイシート技術、フレキシブル光電変換デバイス技術などの低消費電力デバイス技術の開発に成功し、省エネルギー省資源入出力デバイス製造基盤技術の開発を達成した。

・ディスプレイ及び入出力素子作製技術の高度化のため、省資源かつ低消費電力な製造プロセスであり、デバイス低温形成技術である独自技術の摩擦転写法を検討した。それを利用し低消費電力ディスプレイ用光源として白色偏光EL素子を開発した。青色発光高分子配向膜と橙色発光色素を組み合わせることにより白色偏光発光を実現し、膜厚などの最適化により偏光度25を達成した。分子配向と光取り出し効率との関係から、理論的には約20%の取り出し効率向上が期待できるという知見を得た。また、当初の5倍の1600Cd/m<sup>2</sup>以上の輝度を達成した。

・屈折率や透過特性等の光学物性とガラス構造の関係を調べることで、屈折率1.8以上のナノインプリント用新規高屈折率ガラスを開発した。また、そのガラスを用いて、低消費電力プロセスであるナノインプリント法により、入出力素子への適応が可能な、ガラス表面上の数百ナノメートル間隔の微細構造を形成した。これにより、光学機能を有するデバイスの省資源・低電力消費である低温形成技術の開発に成功した。

## 2-(3)-③ 光ネットワークによる情報通信の省エネルギー化（Ⅲ-1-(1)-③へ再掲）

### [中期計画]

・高精細映像等の巨大コンテンツを伝送させる光ネットワークを実現するために、既存のネットワークルータに比べてスループットあたり3桁低い消費電力でルーティングを行う光パスネットワーク技術を開発する。具体的には、ルートを切り替えるシリコンフォトニクス、ガラス導波路技術を用いた大規模光スイッチ、伝送路を最適化する技術、及び光パスシステム化技術を開発する。また、1Tb/s以上の大伝送容量化を目指して、多値位相変調や偏波多重を含む超高速光多重化のためのデバイス及び光信号処理技術を開発する。

### [中期実績]

・高精細映像等の巨大コンテンツを伝送させる光ネットワークを実現することが目標であったが、平成26年度に大規模テストベッドでの総合的連携動作の確認及び、当初には期待していなかった超高精細映像のリアルタイム遠隔セッションや遠隔医療といった応用への可能性を実証・実演するなど、持続発展可能な将来の情報通信インフラ技術の基盤が構築できた。開発された技術としては、平成22年度に、小規模なダイナミック光パスネットワークおよびその要素技術の原理実証デモの実施に成功した。平成23年から平成26年度の4年間は、ダイナミック光パスネットワークを全国規模に拡張する要素技術の開発及びそれらを集約実装するテストベッド構築を目標として研究開発を進めた。平成24年には、その要となる波長選択スイッチの機能を拡張するシリコンフォトニクス技術を用いた切り替え技術や、伝送路を最適化する独自のパラメトリック分散補償システムなどを協働企業と共同で開発した。平成25年には、シリコンフォトニクス技術による世界最小8x8光スイッチの試作に成功し、これらの要素技術を実際の装置としてプロトタイプ化し、テストベッドを構築していった。

・超高速光多重化のためのデバイス及び光信号処理技術の開発が目標であったが、光信号処理技術については変調フォーマット変換等の基本動作を確認するとともに、光源のスペクトル純度評価技術を開発し、民間企業に技術移転して製品化に至るなど、大容量光ネットワーク実現の基盤を構築することができた。一方、デバイス技術に関しては、マルチキャリア発生には至らなかったものの、高効率動作を実現するための指針を得た。開発された技術は、平成22年度の変調フォーマット変換技術、平成23年度のキャリア抽出技術、平成22-24年度の光信号スペクトル純度評価技術、平成25-26年度のマルチキャリア発生技術等である。

## 2-(3)-④ ソフトウェア制御による情報処理システムの省エネルギー化

### [中期計画]

・情報処理システムで用いられる計算機、ストレージ、ネットワーク等の資源について、ミドルウェア技術によりエネルギー指標に基づく資源の選択を実現し、物理資源の利用効率を向上させ、30%の消費電力削減を目指す。利用者の利便性を損なうことなく省エネルギーを実現するため、その時々々の需要や環境に応じてエネルギー消費の小さな資源を使う等、資源の選択や利用法の最適化を行うミドルウェア技術を開発する。

#### [中期実績]

・ミドルウェアにより資源を選択する計算機の省エネ運用技術について、高性能計算プラットフォーム上での実サービス提供を模した耐久試験を通じて安定性の向上とアルゴリズムの細部の改善を行った。さらに、ワークロード情報を高性能計算プラットフォームから取得、分析するために、分散モニタリングシステムから取得、蓄積した統計データを解析する技術を開発した。さらに、データセンタの消費電力を削減する冷却技術、給電技術の効果を確認するために、模擬的に生成した特徴的な外気環境下においてモジュール型データセンタの電力消費量の通年評価を行った。これらを通じ、30%以上の電力消費量の削減が可能で、中期計画目標を達成していることを確認した。ネットワークについては、複数の方式を組み合わせたネットワークモデルの消費エネルギー評価と、利便性を損なうことなくエネルギー消費の少ない方式を選択する手法の提案を行った。また、4K映像配信および4Kテレビ会議をソフトウェア制御により実現する性能保証ストレージとダイナミック光パス網の実証実験を行い、従来型のネットワークと比べて30%を超える省エネが可能であることを確認した。

### 3. 資源の確保と高度利用技術の開発

#### [中期目標]

物質循環型の社会を実現するため、バイオマスからの化学品等の製造技術の開発を行う。また、枯渇性資源の最大活用のために未利用化石資源であるメタンハイドレートの利用技術、石炭の高度利用技術、鉱物資源(レアメタル等)の省使用化、再生及び代替に関する技術の開発を行う。

#### [中期計画]

物質循環型社会の実現のためには、炭素資源、鉱物資源等、多様な資源の確保とその有効利用が不可欠である。そのため、バイオマス資源等、再生可能資源を原料とする化学品及び燃料製造プロセスの構築に向けて、バイオ変換、化学変換、分離精製等の技術の高度化を図る。また、化石資源(石炭、メタンハイドレート等)や鉱物資源(レアメタル、貴金属等)等、枯渇性資源を高度に利用する技術や省使用化技術、リサイクル技術、代替技術等の開発を行う。

#### 3-(1) バイオマスの利用拡大

#### [中期目標]

バイオマスから、化学品等を製造するプロセス技術の開発を行う。

#### [中期計画]

化学品製造等において、石油に代表される枯渇性資源ではなく再生可能資源を効果的に活用するための技術の開発を行う。具体的には、バイオマスを原料とする機能性化学品及び燃料製造プロセスの拡大に必要な酵素や微生物等によるバイオ変換、触媒による化学変換、分離精製、熱化学変換(ガス化、触媒合成)等の基盤技術と高度化技術の開発を行う。また、全体プロセスの設計と燃料品質等の標準化の提案を行う。

#### 3-(1)-① バイオマスを利用する材料及びプロセス技術

#### [中期計画]

・バイオマスから、酵素や微生物等によるバイオ変換や触媒による化学変換と分離、精製、濃縮技術等を用い、基幹化学物質やグリセリン誘導体等の機能性化学品を効率よく生産するプロセス技術を開発する。特に、グリセリン利用においては、変換効率70%以上の技術を開発する。また、製品中のバイオマス由来の炭素が含まれている割合を認証するための評価方法を開発し、国際標準規格策定に向けた提案を行う。さらに、バイオエタノール等の再生可能資源由来物質を原料として低級炭化水素や芳香族等を生産するバイオリファイナリーについて、要素技術及びプロセス技術を開発する。

#### [中期実績]

・微生物や酵素を利用した機能性バイオ素材の効率的な生産系の開発とその用途開発に取り組み、不純物を含むグリセリン原料からのグリセリン誘導体製造においては、原料中の不純物分析、微生物機能の改良、微生物反応条件の最適化、イオン交換膜を用いた分離精製法など各種要素技術を開発し、プロセスの全体の効率化を図ることで、変換効率70%以上を達成した。また、高アルコール選択性の無機分離膜、特にブタノールを高度に濃縮する無機分離膜の開発を行い、原料溶液の温度制御により分離性能の再現性が向上す

る見通しを得た。実際にブタノール発酵液に適用したところ、膜の分離性能は発酵副産物の酪酸や酢酸の影響を受けることが明らかとなった。

・非可食バイオマスである木質系バイオマスを原料として、触媒反応によりレブリン酸や乳酸など基幹性の高い化学品に変換する技術を開発した。レブリン酸はブテンや芳香族系化学品などの基本化学品およびエンブラモノマーなどの機能性化学品の原料として、また乳酸はアクリル酸や低環境負荷溶剤の原料として期待されている。木質バイオマス中のセルロースから生成物に至るまでには、多段階の素反応が関係しているが、それぞれの素反応に適した触媒を設計することにより、レブリン酸については木質バイオマス中のセルロース基準の収率が 90%以上、乳酸については 60%以上に達した。また、木質系バイオマスの前処理が反応に及ぼす影響を検討し、触媒が木質系バイオマスを分解する過程を推察した結果、安価で更に高機能な触媒を開発することに成功した。

・バイオマス等の再生可能資源由来物質を原料として有用化成品基幹物質を製造するための触媒プロセスの検討を行った。バイオエタノールからの炭化水素製造においては、高効率でプロピレンを合成できる触媒の開発に成功した。また、ベンチプラントの製作・運転を通じ、触媒プロセスの実証にも成功した。さらに、得られたプロピレンの重合反応により、ポリプロピレンの合成を行うと共に、石油系原料から得られたポリプロピレンとほぼ同質であることを確認した。レブリン酸や乳酸等のバイオマス由来の有機酸中間化合物から有用化成品基幹物質の製造においては、芳香族炭化水素やアクリル酸等を高効率で合成する高性能変換触媒の開発に成功し、バイオマス由来物質からの有用基礎化学品生産が可能となる見通しを得た。

・バイオマス原料として、農業用廃棄物から生産できるフルフラールから、数種類のバイオマスモノマーであるコハク酸、1,4-ブタンジオール、エポキシモノマーの合成方法を開発した。当該合成法の農業用廃棄物から、フルフラールを経由して 1,4-ブタンジオールまでのコスト計算を行い、石油由来モノマーと同等のコストで生産できることを確認した。また、プラスチック製品に関する「バイオベース炭素含有率」、「バイオマスプラスチック度」、「バイオベース質量含有率」の計算・分析方法を ISO 国際標準規格として提案し、国際審議を経て発行段階まで進めた。ゴム製品に関する「バイオベース炭素含有率」と「バイオベース質量含有率」の計算・分析方法を ISO 国際標準規格として提案し、国際審議を開始した。

・バイオマスの前処理・糖化技術として水熱・メカノケミカル・酵素処理技術の全体プロセス設計による省エネ化を行った。糖化残渣であるリグニンの水熱処理、溶媒処理により低分子化を行うための条件を決定した。糖化酵素については糖化酵素生産菌である糸状菌タラロマイセス・セルロリティカス(旧アクレモニウム)の遺伝子組換え技術を確認し、この技術を用いて主要な糖化酵素の生産性及び活性が向上した菌株を作成した。またバイオマスを原料とする糖化酵素のオンサイト生産技術を開発するとともに、70℃で利用可能な耐熱性セルラーゼ及びキシラナーゼを作成した。一方バイオ変換については、耐熱性酵母への五単糖資化性を付与するとともに、糖化液からのピルビン酸生産に適した組換え大腸菌を作成した。また導入遺伝子資源の確保のため、遺伝子組換えが容易な新規合成ガス資化性菌の発見し、この菌の代謝経路を解明した。

・バイオマスから機能性を持った物質を生産するプロセスのひとつとして、リグノセルロースを物理的・化学的・生物的に処理することでセルロース成分をセルロースナノファイバーとして取り出す技術を確認し、複合材料のフィラーとして用いることができる低コストのセルロースナノファイバーの製造技術を確認した。特にリグニン等を残して製造した製造した 100nm 以下のナノファイバーは、高物性の複合体製造に適していることを明らかにした。また界面活性剤で表面コートしたナノファイバーを添加したマスターバッチを製造することで、複合体物性が向上することもわかった。さらにセルロースナノファイバーの基礎研究、応用研究、実用化研究に携わる企業、大学、研究機関と、それを支援する政府機関、地方自治体等を結集して、産総研コンソーシアム「ナノセルロースフォーラム」を設立し、国際標準化、人材育成、技術交流の各分野で成果をあげることができた。

### 3-(1)-② 微生物資源や有用遺伝子の探索と機能解明 (I-5-(3)-①を再掲)

[中期計画]

・未知微生物等の遺伝資源や環境ゲノム情報、機能の高度な解析により、バイオ変換において従来にない特徴を有する有用な酵素遺伝子を10種以上取得する等、酵素、微生物を用いた実用的な高効率変換基盤技術を開発する。

[中期実績]

・バイオ変換において有用な酵素遺伝子については、 $\beta$ -グルコシダーゼを標的に酵素スクリーニングを行い、

1000 超の酵素を取得した。このうち、リグノセルロース系バイオマスの高度利用にとくに有用な形質となるグルコース耐性を有した $\beta$ -グルコシダーゼを二次スクリーニングし、20 種以上取得した。この他にも、アルカリラッカーゼや耐熱性キシラーゼなどを獲得した。またバイオ変換における有用な宿主開発として、大腸菌をプラットフォームとし、リボソーム工学の手法を用いて宿主機能改変する方法を開発した。本手法の基礎となる 16S rRNA の置換変異については、その成果をプレスリリースする等、大きな成果を挙げた。得られた変異株の詳細な表現型解析により、工業上有用と思われる様々な性質(異種遺伝子発現能、増殖能、高温適応能等)に優れた変異株が創出できることを確認した。

・酵母による機能性脂質生産においては、脂質生産性の高い酵母宿主株の創製をめざして遺伝子改変を行い、ヒストンアセチル化酵素 Esa1p が発現低下した *dga1* 破壊株に変異 DGA1 を発現させて、脂質含量 45% の高い脂質蓄積性株を得ることに成功した。また、 $\Delta 6$  不飽和化酵素を発現した酵母によるステアリン酸生産において、ヒスチジンと界面活性剤の高濃度同時添加で当初の 4 倍以上に生産量を増加させることに成功した。さらに、ヒドロキシラーゼ遺伝子を発現した酵母によるリシノール酸生産において、宿主に対するリシノール酸の毒性を解除する遺伝子として *plg7* を見だし、*plg7* を高発現させることによって、本来脂質を分泌しない酵母による遊離リシノール酸の分泌生産に成功した。また、バイオマス資源からの新規機能性高分子の開発については、グリセロール誘導体から新規環状ケテンアセタールモノマーを合成し、そのラジカル重合によってポリエステル・ケトンを合成することに成功した。また、イタコン酸誘導体モノマーを合成して、その重合性を確認し、中程度の側鎖長を持つポリイタコン酸エステルが食物繊維複合材に適することを見出した。

・主に水生植物に棲息する未知微生物を広範に探索し、水生植物微生物ライブラリーの構築と拡充を図るとともに、水生植物-微生物共生系の開拓と利活用に関する研究を実施した。成果として、ウキクサ、ヨシ、ミソハギ等の多様な水生植物の根圏試料や葉圏試料から、系統的に多様で新規な微生物の分離培養化に成功し、水生植物微生物ライブラリーを構築した。本ライブラリーは、7 門、16 綱、80 属、90 種に及ぶ多様な新規細菌を含んでおり、その多くが属レベルで新規な微生物であった。さらに、水生植物の根圏から「門」という微生物の最高分類階級のレベルで新規な細菌の分離に成功し、新門学名 *Armatimonadetes* 門を世界に先駆けて提案し、国際命名委員会で認定された。さらに、この水生植物微生物ライブラリーから、水生植物の成長を促進する微生物(PGPB)の探索を実施し、これまでに上記の新門微生物を含む 10 種以上の新規 PGPB を見出しており、これらの知見をもとに、有用植物として認知されつつあるウキクサの大規模高効率栽培や、環境浄化プロセスへの応用、さらには植物工場における有用植物の高効率栽培に関する研究開発に着手した。

・1)メタゲノムから高機能遺伝子の推定を行う配列解析パイプラインを構築するための基盤技術開発を行いメタゲノムデータ中から、データベースにまだ存在しない新規な酵素の候補を他の遺伝子情報を考慮して抽出するシステムを開発した。

2)比較ゲノム用配列アライメントプログラムである LASTZ を解析パイプラインに組み込んだシステムを開発し、微細藻類のゲノム解析に応用した。

3)RNA-seq データの GSEA 解析により、海洋微細藻類において特異的に発現が上昇している遺伝子群を同定し、グルコースからトリグリセリドにいたる生合成のパスウェイを推定した。また、全ゲノム解析と発現解析を組み合わせ、海洋微細藻類の代謝経路全体において活性化している部分の推定を行った。

4)トリグリセリド生産時の発現データの時系列解析により、脂肪酸高生産株では通常とは異なるパスウェイを通過してトリグリセリド生合成を行っていることを明らかにした。さらに近縁種とのゲノム比較により、脂肪酸高生産株特異的な性質のキーファクター候補となる遺伝子群を推定した。

・麴菌二次代謝関連遺伝子の網羅的予測と発現情報解析から、予測二次代謝遺伝子の機能解析のための基盤技術開発を行い、遺伝子クラスターと遺伝子制御ネットワークの推定を行った。

次に、麴菌における二次代謝関連遺伝子の予測手法を、大量の遺伝子に対応させるように改善し、二次代謝関連遺伝子検出精度を向上させるための基盤データベースを構築した。また、放線菌ゲノム中の二次代謝関連遺伝子を予測するためのアセンブリパイプラインシステムを構築した。さらに、ゲノム配列における機能ドメイン出現パターンから麴菌二次代謝遺伝子クラスターを予測する技術を開発し、醤油麴 *A. sojae* の次世代シーケンサーによる全ゲノムシーケンスと RNA-seq の結果を用いて解析を実施し、醤油麴 *A. sojae* のゲノム構造を従来よりも高い精度で解明できた。このようにして開発した微生物ゲノムの遺伝子予測技術は、情報ツールとしてまとめて公開した。また、醤油麴 *A. sojae* のゲノム解析結果をまとめたデータベースを公開した。

・南極由来のサンプルから難分解性の乳脂肪を含むパーラー排水処理に適合した低温性脂質分解菌



Mrakia blollopis SK-4 株の分離に成功し、各種室内での模擬実験において、高い排水処理能力を実証することが出来た。農林産業上重要な害虫カメムシ類を中心にその腸内微生物叢の群集構造を明らかにし、 $\beta$ -Proteobacteria を中心とする多様な細菌が共生することを明らかにした。これら腸内細菌が害虫カメムシの成長・繁殖において重要な働きをすることを明らかにするとともに、特筆すべき成果として、それら腸内細菌が農薬分解能を有し、宿主カメムシに農薬抵抗性を賦与することを明らかにした。害虫の農薬抵抗性は従来「昆虫自身の性質」と考えられてきたが、本成果はその常識を覆す大きな発見であり、プレスリリースにより国内外から大きな注目を集めた。さらに、農薬抵抗性に関わる腸内細菌の遺伝子を多数同定することに成功し、どのようなメカニズムで抵抗性の賦与が行われるのか総合的な理解に成功した。

・1)ダイズの害虫であるホソヘリカメムシと Burkholderia 共生細菌の腸内共生系について、宿主カメムシの農薬耐性に寄与する Burkholderia 共生細菌 7 株のゲノム配列を解読し、農薬耐性に関連する遺伝子としてメチルパラチオン加水分解遺伝子 (mph) やパラニトロフェノールモノオキシゲナーゼ遺伝子 (pnp)、メチルヒドロキノンオキシゲナーゼ遺伝子 (mhq) など多数同定することに成功した。また、腸内共生器官の遺伝子発現解析を推進し、抗菌活性を示す新規分泌タンパク質を多数同定するとともに、その発現動態を解明した。さらに、GFP 標識した共生細菌を作成することに成功し、宿主昆虫体内における感染動態の可視化を可能にした。2)ゾウムシ類の細胞内共生細菌 Nardonella について、イモゾウムシおよびクロカタゾウムシの Nardonella の 0.2 Mb という極小ゲノムを決定した。また、ゲノム情報から Nardonella の機能が宿主ゾウムシへのチロシン供給であることを示唆した。さらに、共生細菌除去によるクチクラの軟化、単離共生器官培養などにより Nardonella のチロシン供給能を実証した。

### 3-(1)-③ 生体高分子や生体システムの高機能化によるバイオプロセスの高度化 (I-5-(3)-②を再掲)

#### [中期計画]

・バイオプロセスに有用な生体高分子の高機能化を行うとともに、生物情報解析技術や培養、代謝工学を利用して、機能性タンパク質、化学原料物質としての低分子化合物等を、従来よりも高品質で効率よく生産するプロセス技術を開発する。

#### [中期実績]

・出芽酵母において、メタボロミクスのデータを活用してバイオプロセスの改変を行ない、セレノメチオニン耐性酵母株を作出した。同株の分析により、含硫化合物やいくつかのアミノ酸が増加した株を構築することができた。これらのシステムをさらに生産性の良いメタノール資化性酵母に移植を行ない、アミノ酸の生産を安価に行なう生産技術の開発や X 線結晶構造解析に適したタンパク質の生産系へ応用することに成功した。またメタノール資化性酵母がメタノールを代謝する際の遺伝子発現をトランスクリプトーム解析により検討することで、転写因子の推定やタンパク質の発現向上に関与すると考えられる遺伝子候補の抽出を行なった。その遺伝子解析により、メタノール資化性酵母のメタノール代謝時の代謝経路が変化するメカニズムを推定した。これらの結果を利用し、糖鎖関連分子の一つである糖転移酵素や医療用生物製剤の原料となる抗体分子などを安定的に発現する酵母株を作出した。

・脂肪酸や二次代謝物質などのエネルギーや医薬・化成品として重要な物質について、糸状菌とゲノム科学を利用した代謝パスウェイ改変などによる高生産技術を開発した。特に脂肪酸については、複数の遺伝子の組合せ改変によって、約 180 倍の生産性の向上を実現するとともに、分泌生産を可能とする技術を開発した。

・高温下でバイオマスを糖化することを目的に耐熱性キチナーゼの持つ基質吸着ドメインと耐熱性セルラーゼを融合した人工酵素を作成した。人工酵素創製の方法論確立のため吸着ドメインと触媒ドメインの相対位置関係の効果を調べ、カルボキシ末端ではリンカー長とその柔軟度が活性に影響を与える事(増強効果で 1.6~2.5)、アミノ末端側では長めのリンカー長(50 アミノ酸)で効果のあることが判った。さらに吸着ドメインの多重化の効果を検証し多重化は効果があるが多重化するときのリンカー長は短め(10 アミノ酸)で良い事を明らかにした。またキチン代謝系に関与する 2 種類のキトビオースデアセチラーゼ(DAC)の結晶化に成功し、精密構造を明らかにしただけでなく、構造情報を利用して阻害剤の開発を行い、実験的に阻害効果が見られることを確認した。これ以外にも産業上有用な D-アミノ酸デアシラーゼの発現系構築、精製法の確立を行った。

・水熱反応の再現性に関して、水熱反応部の前に予熱器を設置し、この予熱器を加熱する間接加熱法を採用することにより、反応器で起こる熱分解反応が抑制され再現性のあるデータを得ることができた。また、予熱

器出口温度から反応器内部温度を正確に測定する方法を見出した。上記の改良後、水熱反応温度と残渣収率との関係について検討した結果、残渣収率は水熱反応温度の増加に伴い減少し、観測されるガス・ロス分は水熱反応の昇温速度を低下させることでほとんどゼロにすることに成功した。オリゴ糖成分の選択的抽出では、得られたオリゴ糖の糖化反応および水熱反応残渣の構造解析の結果、水熱反応ではオリゴ糖の選択的抽出は困難であることがわかった。したがって、当該手法で高単糖収率を達成するためには、水熱反応過程でできるだけ抽出率を上げる必要があることが明らかになった。

・産業や医学分野での活用が見込まれる機能性タンパク質の特定とその生産に必要な生物プロセス技術の開発が目標であったが、寒冷地魚類が有する複数の不凍タンパク質の単離精製と組成の解明に成功した。特に、北海道の芝生や牧草地帯に広く生息するキノコ類が分泌する 7 種類の不凍タンパク質のアミノ酸組成を解析し、それらが非常に優れた氷結晶成長抑制能力をもつことを明らかにした。また、多次元 NMR 法と X 線回折法を用いることによって、キノコ由来不凍タンパク質の 3 次元分子構造と氷結晶結合部位を世界で初めて解明することに成功した。更に、同タンパク質の氷結晶結合機能を活用した超高気孔率セラミックス多孔体製造技術の開発に成功し、強力な細胞膜保護機能を発揮する不凍タンパク質も特定した。この細胞保護機能を活用することで、糖尿病の治療に役立つインスリン生産細胞を 4℃下で 120 時間以上も生かし続ける新技術も開発した。このようにして、不凍タンパク質を活用した産業技術の基盤を構築することが出来た。

・2 本鎖 DNA を安定化させる低分子化合物を開発し、高温において 2 本鎖構造をより安定に保持する DNA 分子を構築した。また、安定化 DNA の電極基板上での配向性、構造柔軟性、導電特性などの物理化学的な性質を明らかにした。さらにそれらの技術や知見に基づき、DNA、タンパク質、電極を融合させる研究を進め、DNA・酵素複合体から成る新規なセンサー開発に発展させた。この開発の過程で、DNA の化学修飾に関わる低分子化合物と、高分子樹脂材料を利用した微小電極をそれぞれ開発し、それらが従来技術よりも高い性能を有することをそれぞれ実証した。これらの結果を受け、核酸と電極に関わる知財をそれぞれ国内企業にライセンスした。

・大腸菌並びに放線菌を「物質生産の場」の場として活用すべく各種研究を展開した。大腸菌においては、基本的な代謝経路に関与する酵素群のアンチセンス RNA 発現ベクターを 70 以上構築し、それぞれの遺伝子発現の抑制と、それに呼応した細胞内代謝系の改変を容易に構築する技術を確立した。一方、放線菌を用いた系では、大腸菌では発現困難な抗菌物質合成遺伝子クラスターや診断用酵素などの発現を複数成功させた。また、医薬品としても利用されるビタミン D 水酸化体の生産技術確立のため、ビタミン D 水酸化酵素の高機能化(野生型に対して 70 倍高活性な酵素の開発)や放線菌の機能改編(基質透過性の改善)などを含めたシステムの構築を行うことで、世界最速の水酸化体生産系の構築に成功した。

・ウイルス由来の配列(FMDV 2A region)を用いることでポリシストロニックな発現ができることに着目し、出芽酵母において複数のタンパク質を同時に発現できるシステムの確立を目標として研究開発を進めた。同システムを用いて構築した紅藻スサビノリ由来の 3 つの脂肪酸不飽和化酵素遺伝子を載せた発現プラスミドを出芽酵母に導入し、遺伝子組換え出芽酵母の脂肪酸組成を分析したところ、3 つの脂肪酸不飽和化酵素遺伝子がポリシストロニックに発現し機能していることが予想される結果を得た。それを受け、3 つの脂肪酸不飽和化酵素遺伝子を連結した発現プラスミドに、4 つ目の脂肪酸不飽和化酵素遺伝子を連結した発現プラスミドの作成に着手した。以上の結果から、出芽酵母において複数のタンパク質を同時に発現できるシステムの基盤技術が確立できた。

・機能性新規化合物の調製では、マイクロ波を利用した合成法の研究、特に加熱とは異なる要因による効果の解明や合成酵素への利用展開を進め、成果を得た。そして、多数の活性ペプチドや糖ペプチド、糖鎖などを調製し、他ユニットや他機関との共同研究としてその生理活性探索、創薬展開、デバイス化などの研究を展開させた。また独自に、装置および試薬メーカーとの共同研究も行った。化合物利用研究では、ナノ粒子上に固定化することで化合物の有する生理活性の向上と新しい生理活性の発現に成功した。また、企業との共同研究として抗体作製への利用展開研究を進めた。

### 3-(1)-④ バイオマスからの液体燃料製造及び利用技術の開発 (I-1-(2)-①を再掲)

[中期計画]

・バイオ燃料製造技術の早期実用化を目指して、高効率バイオ変換(酵素糖化、発酵)技術、熱化学変換(ガス化、触媒合成)技術、及びトータルバイオマス利用評価技術を開発する。特に、エネルギー収支 2.0(産出エネルギー/投入エネルギー)以上の高効率バイオ燃料製造プロセスの基盤技術を開発する。

油脂系バイオマスの化学変換(触媒存在下の熱分解や水素化処理、及びそれらの組み合わせ処理)により、低酸素の自動車用炭化水素系燃料(重量比酸素分0.1%未満)を製造する第2世代バイオ燃料製造技術を開発する。また、東アジアサミット推奨及び世界燃料憲章提案の脂肪酸メチルエステル型バイオディーゼル燃料(BDF)品質を満たすために、第1世代 BDF の高品質化技術(酸化安定性10h 以上)等を開発する。同時に、市場導入に必要な燃料品質等の国内外の標準化を行う。

[中期実績]

・高効率バイオ変換技術における酵素糖化については、欧米の知財に抵触しない産総研独自の微生物を用いて、バイオエタノール製造プロセスでの糖化酵素による生産性の向上、バランスの最適化、工業化のための耐熱化に成功した。アルコール発酵については非可食性原料に適用可能で、同時糖化発酵に適した酵母の開発を行った。一方、熱化学変換技術については、バイオマスのガス化、フィッシャー・トロプシュ(FT)合成触媒の開発に成功し、水素化分解の各要素技術を確立した。これらの成果を基に、環境省、複数の民間企業とエネルギー収支が2.0を上回るバイオジェット燃料製造実証を行うべく計画を進めた。トータルバイオマス利用評価技術として、持続可能なバイオマス利用評価技術の精緻化を図り、不確実性が大きい土地利用に関して、現地調査等を通じて評価技術の精緻化も行った。

・第2世代バイオ燃料製造技術を開発では、バイオマス残渣の急速熱分解技術及び熱分解生成油であるバイオオイルの水素化脱酸素反応による低酸素自動車用炭化水素系燃料(重量比酸素分0.1%未満)製造技術の確立を目標とし、パイロットプラント運転により、基盤技術を構築することができた。平成24年度に急速熱分解用触媒及び脱酸素用触媒技術、平成26年度にパイロットプラント規模でのバイオオイル製造技術をそれぞれ開発した。第1世代 BDF の高品質化技術開発では、東アジアサミット推奨及び世界燃料憲章提案の品質を満たす、第1世代 BDF の高品質化技術(酸化安定性10h 以上)等の開発が目標であったが、平成23年度にパイロットプラント運転で目標を達成するとともに、当初予期していなかった実車走行試験による自動車適合性実証や不純物高度除去技術の開発を実現し、工業化につながる基盤技術を確立した。平成22年度にJST-JICA事業でタイにパイロットプラントを設置し、平成23年度にBDFの部分水素化技術、平成25年度にモノグリセリド除去技術、平成26年度に部分水素化触媒の耐久性向上技術をそれぞれ開発した。

・バイオ燃料関連では、JIS K2190:2011(燃料用エタノール)の制定およびJIS K2390:2008(自動車用燃料・混合用脂肪酸メチルエステル(FAME))の改訂に貢献し、東アジア・アセアン経済研究センター(ERIA)事業における良質なバイオディーゼル燃料の流通を目指した活動として、東アジア・アセアン地域で共有し得るバイオディーゼル燃料品質のガイドライン(EEBS:2013)作成を主導した。EEBS:2013の成果は、各国のバイオディーゼル燃料規格のよりよい品質への見直しに大きく影響を与えた。燃料用ジメチルエーテル(DME)品質およびその分析方法では、JIS K2180-1~6の制定およびISO化を主導し、平成27年内にISOが発行される見通しとなった。また、再生可能エネルギー貯蔵・流通に関するトータルシステムシナリオ検討のプロジェクトを開始し、各種エネルギーキャリアに関する実用化に向けた標準化課題の調査やバイオ燃料の品質評価に従事可能な東アジア地域の技術者の育成も行った。

### 3-(2) 化石資源の開発技術と高度利用技術

[中期目標]

メタンハイドレートから天然ガスを生産するための技術開発及び石炭ガス化プロセス等にかかわる基盤技術の開発を行う。

[中期計画]

天然ガスや石炭等の化石資源の確保と高度な転換、利用に資する技術の開発を行う。具体的には、将来の天然ガス資源として期待されているメタンハイドレートから天然ガスを効率的に生産するため、分解採取手法の高度化等の技術開発を行う。また、引き続き世界の主力エネルギー源の一つである石炭の有効利用のため、次世代石炭ガス化プロセス等にかかわる基盤技術の開発を行う。

#### 3-(2)-① メタンハイドレートからの天然ガス生産技術の開発

[中期計画]

・我が国周辺海域等に賦存し、将来の天然ガス資源として期待されているメタンハイドレートから安定かつ大量に天然ガスを生産する分解採取手法を開発する。このため、分解採取手法の高度化、想定される生産障

害の評価、メタンハイドレート貯留層モデルの構築、生産時の地層挙動の評価及び生産挙動を予測するシミュレータ等を開発する。メタンハイドレート貯留層特性に応じた天然ガス生産手法を最適化するため、室内産出試験設備等によりフィールドへの適用性を評価する。

[中期実績]

・メタンハイドレート資源から安定かつ大量に天然ガスを生産する分解採取手法を開発するため、信頼性の高い生産シミュレータを開発したほか、生産増進法および管内流動障害対策技術の開発を行った。開発した生産シミュレータは、世界初の海洋産出試験の事後検証によって、高い信頼性を確保した。生産増進法の開発については、地層熱の回復を利用するサイクリック減圧法、孔隙水を加熱する交流電加熱法および氷の生成熱と地層熱を利用する強減圧法を開発し、生産シミュレーション、コア試験、大型室内産出試験装置によって解析することにより、それぞれ 2 倍程度のガス生産量の増加が見込まれ、生産増進法としての有効性を見いだした。生産性の減退を引き起こすメタンハイドレート再生成による管内流動障害対策の開発では、環境負荷の少ないメタンハイドレート再生成阻害剤として尿素と乳酸の阻害効果を測定すると共に、それらの水スラリーについて流動特性を実験的に解析し、商業的生産時の阻害剤としての有効性を明らかにした。これらの取り組みによって、信頼性の高い生産シミュレータを開発したほか、商業生産の経済性を確保する生産増進法などが開発された。

・メタンハイドレートから安定かつ大量に天然ガスを生産するため、出砂・細粒砂移流蓄積、メタンハイドレート再生成などメタンハイドレート堆積層内で想定される生産障害の評価を行った。3 次元多孔質内における細粒砂の移流・蓄積を表現するため、細粒砂の大きさ、飽和率および圧密度をパラメータとした浸透率低下モデルを導入したシミュレータを構築したほか、計算時間の短縮化を図った。これにより、生産時の浸透率低下による生産減退を評価することが可能になった。また、フローラップ装置を開発し、メタンハイドレート再生成反応を含む生産井内の高圧混相流れを実験的に解析することによって、管内流動下におけるハイドレート核生成に対するメタン溶解、過冷却、および流速の影響を評価し、生産時の流動障害を防止するための操作条件を明らかにした。これらによって、長期的な安定生産に必要な生産障害に関する評価技術が開発された。

・天然ガス資源として期待されているメタンハイドレートから安定かつ大量に天然ガスを生産する手法を開発するため、掘削コア試料の分析などにより海域のメタンハイドレート貯留層モデルを構築した。これにより、生産シミュレータおよび地層力学挙動解析シミュレータによる海洋産出試験の事前予測、事後検証の信頼性を高めた。貯留層モデルの構築にあたっては、地層構造復元モデリングにより、海洋産出試験地周辺域の地層分布形態、地層内歪分布を解析したほか、コア分析により、同域の粒度組成や鉱物組成などの堆積物特性を明らかにした。また、メタンハイドレートが胚胎した砂層堆積物の NMR 緩和時間分布と実験によって得た浸透率との相関、塩水濃度の影響などを解析することによって、従来の浸透率推定法よりも高精度で浸透率を推定する方法を開発した。さらに、地層の不連続性をパラメータとして評価するため、垂直応力載荷状態でのリングせん断実験を行い、せん断変位による粒子破碎と垂直応力の増加が孔隙率低下要因であることを明らかにした。その他、減圧分解時のメタンハイドレート層の 4 成分系熱伝導率測定法を確立した。これら貯留層モデルの構築技術の開発によって、生産性評価や地層の力学挙動評価の信頼性が大きく向上した。

・天然ガス資源として期待されているメタンハイドレートから安定かつ大量に天然ガスを生産する手法を開発するため、生産に伴う地層の力学挙動および坑井の健全性を解析するシミュレータを開発し、第 1 回海洋産出試験結果を用いた検証によってその精度を向上させた。地層力学挙動解析シミュレータの開発では、フィールドへの適用性を高めるためアップスケーリング手法、並列化手法の開発を行い、演算速度を約 11 倍向上させた。また、事前掘削コアの三軸試験によって力学パラメータを評価し、適した弾塑性モデルの開発・組み込みを行いシミュレータの精度向上を図った。さらに、坑井の健全性を評価するため、坑井と地層境界の接触面パラメータなどの物性値を実験的に取得しモデル式を導出した。これらの開発成果を用いて第 1 回海洋産出試験の検証を行い、海底面沈下量、出砂現象を合理的に解析したほか、グラベル厚さなどに関する適切な坑井仕上げ設計条件を提示した。これらによって、生産時の地層力学挙動解析技術の精度向上がなされたほか、長期的に安定な生産を可能にする坑井仕上げ設計を可能とした。

・メタンハイドレート資源開発の経済性、多様性及び研究開発の原理的信頼性を確保するとともに、ガスハイドレートの特徴的な物性を活用した新技術の開発を目的に、民間企業と連携して研究開発を推進した。ガスハイドレートによる天然ガス輸送貯蔵技術開発では、セミクラスレートハイドレート等による被膜形成により、従来より高温の氷点近傍まで、微細な粒子でも分解率を抑制可能な輸送用ハイドレートペレット製造方法を開発したほか、企業と連携して、海洋産出試験用生産ガス輸送システムのコスト試算を行った。また、特許を有するセミクラスレートハイドレートを利用した CO<sub>2</sub> 分離技術開発では、企業と共同で、調和融点が 30℃を越

えるガス分離に適したハイドレートに関する要素研究を行うとともに、補助事業制度を利用した実証試験を製鉄所にて実施した。この結果から、実用規模のCO<sub>2</sub>回収設備の所要動力を試算した。さらに、セミクラスレートハイドレートの熱力学的安定性と構造変化のメカニズムを解明するとともに、新規なセミクラスレートハイドレート生成物質を合成して、オフィス空調等に適する融点を有し、かつ環境負荷の低い冷熱媒体を開発した。

・メタンハイドレート研究アライアンス事業として、メタンハイドレート資源開発に関する8社・8大学からなる産学官連携組織「生産手法開発グループ」および機能活用技術に関する8社・4大学からなる産学官連携組織「ガスハイドレート産業創出イノベーション」を運営し、毎年3-4回の検討会議を開催することによって、本研究センターの研究成果の発信を通じた共同研究の発掘、調査報告書の作成などを行った。また、中期計画期間中に113件の技術研修員、63件の外来研究員受け入れを行い、人材育成、技術移転を実施した。さらに、国際ワークショップ(8th Fiery Ice)の開催、6回のメタンハイドレート総合シンポジウムの開催、20回を超えるセミナー開催、他機関と連携した地方でのシンポジウムの企画・開催を実施したほか、50回の実験教室や82件を超える依頼講演、38件の総説・解説記事の執筆などにより、連携企業の開拓や社会の理解増進活動を行った。これらの活動によって、メタンハイドレート研究開発のプラットフォームを築き、中核機関としての地位を確立した。

### 3-(2)-② 次世代ガス化プロセスの基盤技術の開発

#### [中期計画]

・高効率な石炭低温水蒸気ガス化方式により、ガス化温度900℃以下でも、冷ガス効率80%以上を可能とする低温ガス化装置を開発する。さらに、低温ガス化プロセスを利用し、無灰炭や低灰分炭の特性を生かし、H<sub>2</sub>/CO比を1~3の範囲で任意に調整し化学原料等にする技術を開発する。また、石炭利用プロセスにおける石炭中の有害微量元素類の挙動を調べるための分析手法を開発し、標準化手法を提案する。

#### [中期実績]

・低灰分炭であるインドネシア産のアダロ亜歴青炭、豪州産のロイヤング褐炭の触媒ガス化試験を連続ガス化装置で実施した。水蒸気をガス化剤とすることで、700℃以下の極めて低い温度で安定的にガス化反応が進行し、水素製造が可能であることを実証した。また、ガス化剤としての水蒸気/CO<sub>2</sub>の割合を変えることにより、生成ガスのH<sub>2</sub>/CO比を1~3に制御できる方法を見だし、従来プロセスと比較して極めて高効率(60%程度)で合成ガスまたは水素を製造できる世界初の技術を開発した。低温ガス化で問題となるタール発生についても、前段のガス化と後段のタール分解が効率的に進行するように反応管を改良し、さらにガス化条件を最適化することにより、タール発生の抑制に成功し、ほぼ100%の炭素転換率を達成するに至り、当初の目標を上回る実証試験結果が得られた。さらに微量ガス成分発生量も数ppm~20ppm程度に抑制できることが確認できた。以上の成果から、第3期中期計画の目標はすべて達成するに至った。

・石炭ガス化の反応場を2つに分離(熱分解炉とガス化炉)するという新規な発想に基づく循環流動層型ガス化反応装置を開発した。反応場の分離によって、反応速度を低下させる因子を排除することが可能となり、結果としてガス化温度が900℃以下でも反応速度を向上させることに成功し、またその反応速度を予測可能な速度式を提案した。また、反応場の分離及び装置内のチャーリサイクルを併用することによりガス化効率を大幅に向上させることに成功した。さらに、従来の石炭ガス化の課題であったタールの排出をチャーとタールを良好に接触させるという安価で簡便な手法により大幅に抑制できることを明らかとした。これらの結果、新規の2塔循環式連続石炭ガス化装置において、900℃以下でも冷ガス効率80%以上を達成した。また、マイクロ波照射によるフッ酸不要の低環境負荷型の前処理法と誘導結合プラズマ分光分析法(ICP法)を組み合わせた石炭中の有害微量元素類の挙動の分析手法を新たに開発し、標準化のためのラウンドロビンテストの実施を経て、JIS工業規格案として提案した。

### 3-(3) 資源の有効利用技術及び代替技術

#### [中期目標]

レアメタル等の資源確保に資するため、ライフサイクルを考慮した物質循環評価技術の開発を行うとともに、廃棄物及び未利用資源からレアメタル等を効率的に分別及び回収する技術、レアメタル等の有効利用技術及び代替技術の開発を行う。また、レアメタル等の陸域鉱床探査と資源ポテンシャル評価、海底鉱物資源調査、大陸棚画定に係る国連審査のフォローアップを行う。

#### [中期計画]

偏在性による供給不安定性が懸念されているレアメタル等を有効利用するための技術及び資源の省使用、代替材料技術の開発を行う。具体的には、レアメタル等の資源確保と同時に有害金属類のリスク管理に資するため、ライフサイクルを考慮した物質循環フローモデルを構築する。また、廃棄物及び未利用資源からレアメタル等を効率的に分別、回収する技術の開発を行う。省使用化、代替材料技術として、タングステン使用量を30%低減する硬質材料製造技術の開発を行う。また、レアメタル等の鉱床探査とリモートセンシング技術を用いた資源ポテンシャル評価を行う。

### 3-(3)-① マテリアルフロー解析

#### [中期計画]

・有害金属類のリスク管理やレアメタル等の資源確保に係る政策に資するため、国内外での生産や廃棄、ライフサイクルを含む、ライフサイクルを考慮した物質循環フローモデルを開発する。具体的には、有害性と資源性を持つ代表的な物質である鉛を対象に、アジア地域を対象としてフローモデルを開発する。次に、鉛において開発した手法やモデルを基礎として、他のレアメタル等へ展開する。

#### [中期実績]

・中古品貿易データの精度を改善した世界各国のサブスタンスフロー手法、衛星夜間光強度データを用いた環境排出量の5kmメッシュ空間割り振り手法、高排出量を有する局所での暴露推定手法からなるアジア規模の金属暴露解析のプロトタイプモデルを構築し、有害性評価も合わせた階層的リスク評価手法を確立した。鉛を例に、中国の不法リサイクル汚染地域におけるヒト健康リスク評価を実施し、小児の健康リスク(知能指数低下)が懸念されることを明らかにした。また、コバルト等に対して国内におけるマテリアルフロー解析を実施し、最終製品別の金属消費量を初めて定量的に推計し、廃棄物リサイクル評価のための20年以上にわたるレアメタルのマテリアルフローデータを作成した。

### 3-(3)-② レアメタル等金属や化成品の有効利用、リサイクル、代替技術の開発

#### [中期計画]

・レアメタル等の有用な材料の安定供給に資するため、使用済み電気・電子製品等の未利用資源を活用する技術を開発する。具体的には、金属や化成品の回収及びリサイクル時における抽出率、残渣率、所要段数、利用率等の効率を50%以上向上させる粒子選別技術、元素レベルでの分離精製技術及び精密反応技術を開発する。

先端産業に不可欠なレアメタル等の省使用化、代替技術を開発する。具体的には、界面制御や相制御により、レアメタル国家備蓄9鉱種の1つであるタングステン使用量を30%低減する硬質材料の製造技術、ディーゼル自動車排ガス浄化用触媒の白金使用量削減技術や重希土類を含まない磁性材料の製造技術等を開発する。

#### [中期実績]

・諸効率50%以上を実現する粒子分離技術の開発を実施した。センシング選別では、廃小型電気製品を対象にタンタルコンデンサ数の違いによる自動選別(精度90%以上)を初めて実現するとともに、企業・大学等との協力により、世界初のLIBSソータ(固体元素量を検知して自動選別)の実用化が大きく前進した。また、政府のリサイクル重点化5鉱種の1つタンタルを、従来比3倍の精度で選別可能な複管式気流選別機を核にする選別システムを開発するとともに、タンタルリサイクルの商業稼働を世界初めて実現した。さらに、選別予測が可能な電子素子選別シミュレーションソフトを完成させた。また、特殊ランプに対応可能なレアアース系蛍光灯ランプの非破壊識別・選別装置を開発し、処理速度従来比50%向上を実現した。一方、都市鉱山への期待の急速な高まりに対応するため、平成22年に戦略金属資源循環技術(都市鉱山)プロジェクトを開始し、平成23年に産総研36名の研究者からなる戦略的都市鉱山研究拠点(SURE)を、平成24年に70会員を擁する官民連携フォーラムSUREコンソーシアムをそれぞれ設立、国内随一の分離技術実証ラボの整備や多数の企業連携プログラムを設立することで、我が国を代表する都市鉱山研究体制を築いた。

・希土類磁石からの希土類の選択分離法として、焙焼・浸出・溶媒抽出によるプロセスを研究し、効率的な抽出分離条件を見出した。各種工程液中の希薄な希土類元素の選択的回収を目的として、シリカゲル担体吸着剤を作製した。この吸着剤は従来困難であった低いpHにおける吸着分離が可能で、さらに過剰の鉄(III)

共存時の吸着率は市販吸着剤の5倍以上であった。希土類磁石から回収したレアメタル(ネオジウムとジスプロシウム)を相互分離する方法として配位高分子化反応を利用する分別沈殿法を考案し、水溶液中でネオジウムとジスプロシウムを元素レベルで分離できる条件を見出した。白金族金属に対する新規抽出分離系を開発し、パラジウムに関しては DHS-TDGA 系を用い抽出時間を従来比 10 分の 1 以下へ短縮した。また、ロジウムについては実用性の高いアミド含有 3 級アミンの構造を明らかにし、従来比 80%以上のロジウム抽出率を得た。溶融塩を用いた新原理に基づく希土類分離プロセスを開発し、分離速度等を実証した。また、未利用鉱石からの効率的な希土類回収プロセスを考案し、ケイ素混入率を従来法の約 1/3 に低減する条件を見出した。

・民間企業と共同で LP ガスボンベ用 FRP を溶媒中 200°C 程度の穏和な条件下で可溶化し、ガラス繊維を回収する技術を開発した。本法では、可溶化した FRP を熱分解して得られた液体生成物を循環溶媒として利用できるため、従来の液化法に比べて新しく購入する溶媒量を 50%に低減化でき、経済性を大幅に向上させることに成功した。プリント基板等を溶融炭酸塩や微粒化ニッケル等の共存下で水蒸気ガス化すると反応は加速され、従来法に比べて 50%以下の時間で基板は水素に転換されることを見出し、銅やレアメタル等の有用金属を回収できるプロセス開発に成功した。混合廃棄物の熱分解ガス化ベンチプラントによる可燃性ガスの製造や部分燃焼炭化による熱回収プロセスの 5 トン/日プラント運転を企業とともに実施し、熱分解に比べ部分燃焼では熱回収効率を 50%向上させることが可能になった。熱回収効率の試算の結果、給湯では、部分燃焼が有利である一方、数百 kW 以下の小規模発電では、熱分解ガス化発電が有利になる可能性を明らかにした。

・先端産業に不可欠なレアメタルを中心に、省使用化・代替材料開発を実施することで、切削工具や金型に対してタングステン使用量を 30%低減できる技術、大型ディーゼル車用排ガス浄化用酸化触媒に対して白金族使用量を 50%低減できる技術、重希土類を含まない焼結磁石の作製技術の開発に成功した。これらの研究の一部は、NEDO プロジェクト等を中心に民間企業や大学との連携のもとで実施され、実用化に近い技術として開発できた。また、大学で開発された熱電材料を当部門のナノテク技術でモジュール化することにより民間企業との実用化研究へ発展させることができた。さらに、レアメタル対策へ総合的に取り組むため、産総研の分野融合体制であるレアメタル・タスクフォースを立ち上げ、資源探査、需給バランス予測、リサイクル技術開発、省使用化・代替材料開発の情報交換を積極的に行うことで効率的な対策技術を提案できた。なお、重希土類の使用量を低減した高性能磁石開発は、経済産業省の未来開拓型プロジェクトとして採択され、当部門を中心に新しい研究センター(グリーン磁性材料研究センター)を創出できた。

### 3-(3)-③ レアメタル等の鉱床探査と資源ポテンシャル評価 (別表2-2-(2)-①を一部再掲)

#### [中期計画]

・微小領域分析や同位体分析等の手法を用いた鉱物資源の成因や探査法に関する研究、リモートセンシング技術等を用いて、レアメタル等の鉱床の資源ポテンシャル評価を南アフリカ、アジア等で実施し、具体的開発に連結しうる鉱床を各地域から抽出する。

海洋底資源の調査研究については、海洋基本計画に則り、探査法開発、海底鉱物資源の分布や成因に関する調査研究を実施するほか、海洋域における我が国の権益を確保するため、大陸棚画定に係る国連審査を科学的データの補充等によりフォローアップする。

#### [中期実績]

・レアアース資源供給不足に対応するため、南ア、モンゴルの未開発レアアース鉱床の詳細調査を実施した。特に南アでは、南ア地調と共同で有望鉱床を発見し、その賦存状況を明らかにした。さらに、ブラジル、米国、東南アジア諸国と研究協力を開始し、各種レアアース鉱床の資源評価を実施した。これらの結果は、経産省を通じて国の資源政策に反映された。

レアメタル資源研究拠点整備の一環として、産総研にレアメタル鉱石分析設備、選鉱試験設備を導入し、本格稼働させた。さらに、それらを用いたレアメタル鉱石迅速・高精度分析ルーチンを確立した。

米国地調と共同で、世界的レアアース資源データベース整備を進め完成に至った。

産総研レアメタルタスクフォースの活動に、シンポジウム講演、展示会参加等で貢献した。

・プラチナ・パラジウム微小領域分析手法の開発を行い、微小領域分析や同位体分析から南アフリカ、アラスカ、日本の金鉱床の金の沈殿機構や金鉱床探査手法を解明した。豊羽鉱床のインジウムの存在状態と濃集機構や菱刈鉱床のセレンを伴う金とカリウムの濃集機構について明らかにした。雲仙火山では変質鉱物と流体包有物から温度構造を明らかにし、付近の地熱水の温度分布との比較から鉱床形成の時期の推定を行っ

た。海底鉱物資源研究のための化学実験室の整備を完成し、鉄マンガンクラストの分析手法の開発とオスミウム同位体による成長速度の解明を行った。また、大陸棚画定に係る国連審査のフォローアップでは、国際誌への掲載が求められる調査結果の論文化を行うなど、審査対応部会での任務を遂行した。

#### 4. グリーン・イノベーションの核となる材料、デバイスの開発

##### [中期目標]

革新的材料、デバイス創成のため、ナノレベルで機能発現する材料、多機能部材、ナノチューブ、炭素系材料の量産化と産業化技術の開発を行う。また、グリーン・イノベーションの実現に必要な電子デバイスの高機能化技術及び高付加価値化技術の開発を行う。材料、デバイスの効果的かつ効率的な開発のためのプラットフォームを整備してオープンイノベーションを推進する。

##### [中期計画]

部材、部品の軽量化や低消費電力化等による着実な省エネルギー化とともに次世代のグリーン・イノベーションを目的として、従来にない機能や特徴を持つ革新的材料及びデバイスの開発を行う。具体的には、ナノレベルで機能発現する新規材料や多機能部材の開発を行う。また、部品、部材の軽量化や新機能の創出が期待される炭素系新材料の産業化を目指した量産化技術の開発と応用を行う。さらに、ナノテクノロジーを駆使して、電子デバイスの高機能化・高付加価値化技術の開発を行う。ナノエレクトロニクス等の材料及びデバイス研究開発に必要な最先端機器共有施設を整備し、効率的、効果的なオープンイノベーションプラットフォームとして活用する。

#### 4-(1) ナノレベルで機能発現する材料、多機能部材(Ⅲ-2-(1)へ再掲)

##### [中期目標]

ナノスケールの特異な物性を利用して機能を発現する新しい材料、多機能部材や革新的光、電子デバイス、高予測性シミュレーション技術の開発を行う。

##### [中期計画]

省エネルギーやグリーン・イノベーションに貢献する材料開発を通じてナノテクノロジー産業を強化するために、ナノレベルで機能発現する新規材料及び多機能部材の開発、ソフトマテリアルのナノ空間と表面の機能合成技術や自己組織化技術を基にした省エネルギー型機能性部材の開発を行う。また、新規無機材料や、有機・無機材料のハイブリッド化等によってもたらされるナノ材料の開発を行う。さらに、革新的な光、電子デバイスを実現するナノ構造を開発するとともにこれらの開発を支援する高予測性シミュレーション技術の開発を行う。

#### 4-(1)-① ソフトマテリアルを基にした省エネルギー型機能性部材の開発

##### [中期計画]

・調光部材、情報機能部材、エネルギー変換部材等の省エネルギー型機能性部材への応用を目指して、光応答性分子、超分子、液晶、高分子、ゲル、コロイド等のソフトマテリアルのナノ空間と表面の機能合成技術、及びナノメートルからミリメートルに至る階層を越えた自己組織化技術を統合的に開発する。

##### [中期実績]

・実用的な色素・顔料として知られているフタロシアニンをベースとした液晶性半導体研究において、室温で正負両極性でかつドリフト移動度が  $1\text{cm}^2\text{ V}^{-1}\text{ s}^{-1}$  を越える高速移動度材料を見出し、変換効率 3.1%、外部量子収率 70%強の性能を示すバルクヘテロ型有機薄膜太陽電池の開発に成功した。この高性能化のために混和性等液晶の特徴を生かす研究を行い、光吸収波長の異なる同種の液晶相を取る液晶性有機半導体の混合系が、半導体特性を落とさずに光吸収波長域を可視光から近赤外光の領域まで拡大できる可能性を見出した。また、n 型有機半導体との混合系である太陽電池活性層での n 型半導体の混和性の増強を分子設計により達成した。これらにより液晶の持つ特性を生かして混合系として半導体特性を維持し、更に光吸収、電荷分離の双方を制御できる可能性を見出した。一方、印刷工程に適した液晶性有機半導体インクを試作し、その半導体特性を評価するとともに、塗布工程による薄膜有機デバイス製造の検討を行った結果、電極構造および塗布工程の制御により、 $1\text{cm}^2\text{ V}^{-1}\text{ s}^{-1}$  を超える高性能な電界効果型有機トランジスタ特性動作を実証



した。

・光応答性分子、液晶、高分子などのソフトマテリアルの機能合成技術、自己組織化技術を統合的に開発し、省エネルギー型機能部材への応用を目指すことを目標とし、有機分子の分子設計・機能合成によりさまざまな光異性化・光相変化材料の開発を行った。その結果、これらの材料が CNT 分散剤や光可逆接着剤などへ応用可能であることを示し、機能性ソフトマテリアルの産業応用の基盤の構築を達成した。具体的には、CNT 表面との相互作用を光により制御できる分散剤を合成し、CNT 分散状態を光により ON-OFF する技術を開発した。これにより、CNT の透明電極応用の可能性を高めた。また、分子の会合状態を光により制御することで、室温で定温状態のまま固体-液体相変化する材料を開発した。さらに、この原理を利用することで、光可逆接着剤へ応用できることを示した。また、液晶と高分子微粒子および光応答性分子の自己組織化から形成する複合ゲルが光によりゲル-ゾル転移を示すことを見出し、材料の表面にできた傷を光照射で修復する技術を開発した。

・液晶、高分子、ゲル、コロイド等のソフトマテリアルの機能合成技術とナノメートルからミリメートルに至る階層を越えた自己組織化技術を統合的に駆使し、調光部材、情報機能部材、エネルギー変換部材などの省エネルギー型機能性部材の開発及びそれらを用いたデバイスの試作と評価を行った。平成 26 年度のケモメカニカルゲルのマイクロポンプ、金属層導入導電性ゲル及び軽量化軟骨部材の開発はソフトアクチュエータの実用的な展開への可能性を示した。重水素標識光学材料では、平成 24 年に有機電界発光素子の緑色発光効率 7%向上と 2.3 倍の輝度半減寿命を達成し、平成 26 年は青・赤発光性の重水素標識光学材料の合成と 10%強の耐光性向上に成功し、実用化段階に近づくことが出来た。異方性媒体やナノ粒子の配列化とデバイス応用では、異方性相互作用での配列が期待される異方性ナノ粒子の簡易合成に進展がみられたと共に、板状コロイドの配向配列や液晶コロイドによる電気光学効果を見出し、柔らかい調光部材の試作に成功した。平成 23 年度にはソフト微細構造界面(マイクロリンク)と液晶との相互作用で発現する秩序構造を発見し、学術業績として国際的に非常に高い評価を受けた。

・高度な計測技術を駆使し、実用化研究の推進や技術研究組合および先端機器共用化への協力、さらには喫緊の解決課題に対して原理解明や計測手法の高度化を通じ、以下に示すような研究推進をサポートし、新規の知見を得た。SFG 分光を用い、有機デバイスの実動作状態でのデバイス内部挙動を、その場計測することに成功した。有機薄膜太陽電池や有機 EL 素子が劣化する時の状態変化の追跡や、加熱による膜構造の変化を、分子レベルで追跡することを可能とした。撥水・撥油性表面における界面分子挙動に関する知見を得た。電子顕微鏡を用い、高分子接着界面解析や有機太陽電池の相分離構造や結晶構造の三次元情報等、製品性能に関わる物性情報の定量解析を可能にした。また装置開発の観点からは、独自技術である吸引プラズマ加工装置の性能評価・信頼性向上に努め、同装置の国内外への普及展開の支援を行った。この様に、材料評価技術を通じて、ソフトマテリアルのナノ空間と表面・界面の最適化や物性情報を得る事により、さらなる高性能材料の合成技術や自己組織化技術に資する開発を行った。

・省エネルギー型機能性部材等への応用を目指した、ソフトマテリアルのナノメートルからミリメートルに至る階層を越えた自己組織化技術の開発を目標とし、以下に示す開発および検討を行った。1)ナノ粒子・高分子複合系において、球形ナノ粒子を含有する高分子混合系の相分離構造をシミュレーションすることに成功した。2)キラル液晶において、キラル液晶が薄膜中で形成するスカーミオン格子構造を初めて明らかにし、成果を、"Nature Communication"誌に掲載した。3)マイクロリンク上の液晶構造における微粒子捕捉サイトの熱揺らぎの温度依存性について理論的な考察を行い、微粒子マイクロマニピュレータの温度制御に関して設計指針の提案を行った。4)ソフトアクチュエータ材料を目指した自励振動ゲルについて、その構造変化としての膨潤・収縮過程のダイナミクスについて散逸粒子力学シミュレーションにより解析し、膨潤・収縮過程ができる限り平衡な過程として進むような材料設計が重要であるとの提案を行った。5)液晶性ドナー/フラーレン混合系界面の構造をシミュレーションし、当該材料を用いた有機薄膜太陽電池の特性を向上させるための材料設計指針を提案した。以上、個々の具体的な系において階層を越えた自己組織化のシミュレーションを可能とするモデルを開発し、当該技術の産業応用の基盤構築に繋げることができた。

#### 4-(1)-② 高付加価値ナノ粒子製造とその応用技術の開発

[中期計画]

・ナノ粒子の製造技術や機能及び構造計測技術の高度化を図ることにより、省エネルギー電気化学応答性部材、高性能プリンタブルデバイスインク、低環境負荷表面コーティング部材、高性能ナノコンポジット部材等の

高付加価値ナノ粒子応用部材を開発する。

[中期実績]

・本中期計画内は、特にプルシアンブルー型錯体ナノ粒子の応用として、放射性セシウム除染対策と、色変化素子の開発に従事した。前者においては、中期計画開始後に発生した原子力発電所放射能漏えい事故に対応するために緊急的に開始した。結果として、プルシアンブルー型錯体ナノ粒子という原料、それを粒状体や不織布担持体といった形に成形した吸着剤、それらを利用した環境水中放射性セシウム濃度分析用濃縮装置は、企業との連携の結果、上市に至った。また、植物系汚染物及び焼却灰の減容処理、ため池からの汚染拡散防止対策について、福島県内で大規模な実証試験を実施した。前者は飛灰洗浄技術研究会の技術資料策定へと貢献し、後者は農林水産省の対策マニュアルに具体例として記載された。色変化素子については電解質の改良などにより、1000 時間の耐光性を達成した。また、1 年超にわたる臨海副都心センターにおける展示などを行った。

・液中レーザー溶融法では、様々な無機材料に対してサブマイクロメートル球状粒子の生成が可能であることを実証した。本法で得られたサブマイクロメートル TiO<sub>2</sub> 球状粒子を、量子ドット型太陽光発電素子に光散乱層としてコーティングすることにより、10%の光電変換性能の向上を確認し、ZnO 球状粒子を用いた新規ランダムレーザーの作製にも成功した。気相中熱酸化法では、可視光光触媒等の応用に重要な NiO ナノ粒子の構造制御や、触媒利用が期待される単結晶の Au-NiO ヘテロ接合ナノ粒子の合成に成功した。マイクロミキサーおよびマイクロリアクターによる材料合成技術により、有機EL化合物の円板状ナノ粒子の連続合成に成功し、デバイス化に必要な平滑薄膜の作製に目途をつけた。また、難燃性と通常の発泡体よりも高い断熱性を持つ、複数の発泡ポリマーシリカナノコンポジットの作製に成功した。さらに、エネルギー貯蔵部材、有用物質回収部材として有望な有機無機ナノ多孔体(MOF)のナノ粒子の連続合成プロセスを開発し、市販品より大幅に小さい 100nm 以下の粒子径で狭い粒径分布を持つ MOF ナノ粒子を連続的に合成することに成功した。

・色素増感型太陽電池用対極材料に用いられる希少な白金の代替材料として、新規な導電性ナノコンポジット材料の開発を試みた。具体的には導電性に優れ、かつ大量合成技術が確立しつつある多層カーボンナノチューブ(MWNT)を用いた。太陽電池用対極を形成するに際し、MWNT 単体では賦形性が悪いいため、まずイオン液体(IL)を用いて MWNT の表面を改質した。しかしながら、この二元系組成物(IL-MWNT)は、MWNTの分散性は向上したものの、光電変換効率率は白金に及ばなかった。そこで、導電性をさらに向上させるため、この IL-MWNT に導電性高分子(PEDOT:PSS)を混合し、コア・シェル型構造の三元系材料を開発した。このコア・シェル型三元系新材料を色素増感型太陽電池用対極材料として用いると、白金とほぼ同等の光電変換効率(4.77%)を示すことを見出した。

#### 4-(1)-③ 無機・有機ナノ材料の適材配置による多機能部材の開発

[中期計画]

・セラミックス、金属、ポリマー、シリコン等の異種材料の接合及び融合化と適材配置により、従来比で無機粉末量1/2、熱伝導率同等以上、耐劣化性付与の無機複合プラスチック部材、ハイブリッドセンサ部材、数 ppm の検知下限で水素、メタン、一酸化炭素等をガスクロマトグラフなしで一度に計測可能なマルチセンサ部材等の多機能部材を開発する。このために必要な製造基盤技術として、ナノ構造を変えることなくナノからマクロにつなぐ異種材料のマルチスケール接合及び融合化技術を開発する。

[中期実績]

・無機粉末の使用量を従来比の 1/2 としながらも、従来と同等以上の熱伝導率を有する無機複合プラスチックの開発を目標とし、無機粉末の形態制御プロセス、母材樹脂の秩序化プロセスの開発によって、目標の無機複合プラスチックの開発に成功した。開発した無機複合プラスチックを熱可塑性炭素繊維強化プラスチックの母材として適用することで、加熱時の熱伝搬が良好になり、部材の熱劣化抑制効果や高速成形へ応用できることが判明した。ハイブリッドセンサ部材の開発では、ナノレベルで触媒粒子の分散性を高めて集積化することにより、1ppm 検知で水素、メタン、一酸化炭素をガスクロマトグラフなしで計測可能であることを示した。また、SnO<sub>2</sub> ナノ粒子、SnO<sub>2</sub> ナノシートおよび触媒を複合化した複合型ガスセンサを開発し、呼気 VOC(ノナール)の高感度検知特性を確認した。開発センサは、ヘルスケア機器としての実証試験へ展開した。さらに、無機骨格と有機化合物の界面を利用して形態制御した単結晶ナノキューブを高次に適材配置し、ナノ材料自体と界面の機能が相乗した高性能小型デバイスの開発をすすめ、スーパーキャパシタ実現に向けた、マルチ

スケールでの材料設計指針を提示した。

#### 4-(1)-④ ナノ構造を利用した革新的デバイス材料の開発

##### [中期計画]

・ナノギャップ電極間で生じる不揮発性メモリ動作を基に、ナノギャップ構造の最適化と高密度化により、既存の不揮発性メモリを凌駕する性能(速度、集積度)を実証する。また、ナノ構造に起因するエバネッセント光-伝搬光変換技術を基に、ナノ構造の最適化により、超高効率な赤色及び黄色発光ダイオード(光取出し効率80%以上)を開発する。

##### [中期実績]

・選択成長法による AlGaInP 微小リッジの作製技術を開発した。作製したリッジ構造ではエバネッセント光の干渉効果による発光強度の増大が観測され、本研究が基礎を置く原理が、可視光 LED において重要であるこの材料系においても成り立つことを確認した。裏面に銀ミラーを備えた AlGaInP 発光ダイオードへの本原理の適用や、リッジ構造よりもさらに大きいエバネッセント光干渉効果が得られる微錐台構造を作製する技術の開発を行い、高出力赤(黄色)LED として世界最高となる 51%(25%)および 60~70%(35~40%)の外部量子効率および光取出し効率をそれぞれ達成した。計画当初の目標である光取出し効率 80%には達しなかったが、共晶ボンディングの歩留まりの解決により光の内部損失の減少には成功しており、今後光取出し効率が目標値に近づく可能性を見いだした。

#### 4-(1)-⑤ 材料、デバイス設計のための高予測性シミュレーション技術の開発

##### [中期計画]

・ナノスケールの現象を解明、利用することにより、新材料及び新デバイスの創製、新プロセス探索等に貢献するシミュレーション技術を開発する。このために、大規模化、高速化のみならず、電子状態、非平衡過程、自由エネルギー計算等における高精度化を達成して、シミュレーションによる予測性を高める。

##### [中期実績]

・第一原理材料シミュレータ QMAS について、特にスピン軌道相互作用・ノンコリニア磁性を取り扱うための 2 成分スピノル形式電子状態計算機能、および最局在ワニエ軌道解析機能に重点を置き、開発・整備を進めた。また、希土類濃度の低い磁石化合物 NdFe<sub>11</sub>TiN の磁性を第一原理計算と結晶場理論に基づき調べ、Ti による磁化の顕著な低下と窒化による磁化と磁気異方性の増大の電子論的機構を解明した。また、仮想物質 NdFe<sub>12</sub>N が有力な磁石化合物であることを示唆した。さらに、鉄系超伝導体と関連物質 6 種類の第一原理有効モデルを導出し、構造や電子構造に類似性が見られるにもかかわらず、電子相関の強さに顕著な物質依存性があることを明らかにし、得られた有効モデルを LDA+DMFT 法で解析し、BaFe<sub>2</sub>As<sub>2</sub> ではホールドーピングが多い領域で「悪い金属(bad metal)」になることを見いだした。また、第一原理計算による様々な有機強誘電体の電子構造解明・自発分極値予測により、物質開発・性能発現のための指針を提示した。加えて、各種半導体の格子欠陥における陽電子状態・消滅パラメータを計算し、実験との比較検討により、試料中に存在する欠陥種を同定するに至った。

・電気化学界面シミュレーションの高精度化のために有効遮蔽媒質法において、非物理的な真空を取り除く改良、および現実的な電極電位一定の条件下で分子動力学シミュレーションを行う方法を開発した。水素発生光触媒の劣化機構の解明、カーボンエアロジェルを用いたスーパーキャパシタの性能向上へ向けた設計指針の提示を行った。燃料電池の新規炭化水素系電解質膜について、独自に開発した FEMTECK を用いた大規模計算により、低含水率条件下での低いプロトン伝導度の原因、および膜の化学的劣化機構を解明した。有機ケイ素材料開発において白金触媒を代替するルイス酸やニッケル錯体等の触媒候補物質の開発を促進した。分子動力学計算でのサンプリングと自由エネルギー計算を改善する LogMFD 法を考案し、生体分子系で高精度化を実証した。高性能水素貯蔵材料の開発指針を得るため、元素置換効果や量子力学的状態の解析とともに、金属中の転移のシミュレーション技術を開発し、水素吸蔵特性の繰り返し劣化メカニズムを明らかにした。放射性セシウム除染に関連し、カラム除染特性およびため池底に蓄積した放射性セシウムの垂直分布を予測するソフトウェアを開発した。

・生体・分子機能の解析と予測のため、分子間相互作用の精密計算とそれに基づくモデリング技術の高度化、自由エネルギー計算の高精度化、力場開発を行った。エレクトロニクスやエネルギー変換等のデバイス用材

料に対する電気伝導や発熱、熱の移動、熱電変換特性予測シミュレータ等を開発した。ゲージ不変 PAW 法、ボルン有効電荷の時間依存性追跡手法、効率的時間積分法等を開発・実装して第一原理分子動力学法の一層の精緻化と高速化を実現した。実験グループとの積極的な連携を行い、これらの手法を駆使して実験先導的なシミュレーションを実践した。生体分子、イオン液体電解質、カーボン材料、有機分子触媒等の分子認識機構、分子輸送特性、生体膜流動性、触媒設計指針等を解明した。熱電素子や有機、無機材料の不揮発性メモリの提案と実証、ナノサイズトランジスタの絶縁体や透明電極に用いるアモルファス金属酸化物の構造、ガラス融体の構造、有機分子の NMR、半導体中の複合欠陥生成機構等の計算を行った。酵素反応において基底状態の不安定化と遷移状態の安定化を巧みに併用する事で、高い酵素活性が発現する事を示した。

・FMO における精度向上と高速化、又はその超並列化を行った。高次相対論効果を取り込んだ実ポテンシャルを開発し、QM/MM の手法に基づく二段階超並列法を完成した。開発したプログラムを用い、蛋白質等の極小構造や分光データを第一原理計算で解析し、溶液中 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 分子の異性体化反応を解明し、企業との共同研究の糸口を得た。二層グラフェンによるチャネルで、ゲート電圧を印加することによるバンドギャップの発生にてオンオフ操作ができることを提案した。FEMTECKコード高速化により、炭化水素系ポリマー電解質中プロトン伝導、LiBH<sub>4</sub> 固体中の Li の高い拡散係数を説明した。電気化学反応機構の鍵を握る水溶液中の赤外スペクトル解析を理論的に行った。CNT の光化学試験管としての用途を提案した。グラフェン層欠陥における電気伝導にて「谷分極電導」および「表面ランダウレベル」を理論的に予測しグラフェン透明伝導膜の電導機構を解明した。グラフェン端状態の STM 像を量子干渉効果として理論的に説明した。平成 24・25 年度には東北大・NEC との共同研究で、第一原理計算コードの高速化と光反応シミュレーションを行った。

・ナノ構造・界面に関するシミュレーション・理論解析技術を向上させ、ナノ磁気構造を用いた高効率なマイクロ波発振デバイス、超伝導体や半導体ナノ構造を用いた量子情報処理デバイス、ナノカーボン材料、有機太陽電池材料の設計と特性解析を行った。さらに、主に有機系材料に対するシミュレーション・理論解析を行った。具体的には、多環芳香族分子からなる有機固体について、結晶構造予測法の適用を検討した他、溶液からの構造形成に及ぼす主鎖と側鎖の効果を明らかにした。また、ブルー相液晶の薄いセルが示す秩序構造の光学的性質の解析を行った。シミュレーション技術では、ナノ粒子を高分子に分散させる際に重要となる混練プロセスを模したずりを印可できる手法の開拓を行った。さらに、無機太陽電池に対する理論を拡張することにより、従来指針が無かった有機薄膜太陽電池の光電変換効率の理論的な限界を求めることに成功した。

#### 4-(2) ナノチューブ、炭素系材料の量産化技術と応用 (Ⅲ-2-(2)へ再掲)

##### [中期目標]

従来材料より優れた様々な特性を有し産業化が期待されるカーボンナノチューブの大量生産技術の開発を行うとともに、透明導電膜、太陽電池、薄膜トランジスタへの応用技術の開発を行う。また、有機ナノチューブ、ダイヤモンド等の合成技術及び利用技術の開発を行う。

##### [中期計画]

部材、部品の軽量化や低消費電力デバイス等への応用が可能なナノチューブや炭素系材料の開発を行うとともに、これらの材料を産業に結びつけるために必要な技術の開発を行う。具体的には、カーボンナノチューブ(CNT)の用途開発と大量合成及び精製技術の開発を行う。また、グラフェンを用いたデバイスの実現を目指して、高品質グラフェンの大量合成法の開発を行う。有機ナノチューブの合成法高度化と用途開発を行う。パワーデバイスへの応用を目指して大型かつ単結晶のダイヤモンドウエハ合成技術の開発を行う。

#### 4-(2)-① ナノチューブ系材料の創製とその実用化及び産業化技術の開発

##### [中期計画]

・カーボンナノチューブ(CNT)の特性を活かした用途開発を行うとともに産業応用を実現する上で重要な低コスト大量生産技術(600g/日)や分離精製技術(金属型、半導体型ともに、分離純度:95%以上;収率:80%以上)等を開発し、キャパシタ、炭素繊維、透明導電膜、太陽電池、薄膜トランジスタ等へ応用する。また、ポストシリコンとして有望なグラフェンを用いたデバイスを目指して、高品質グラフェンの大量合成技術を開発する。さらに、有機ナノチューブ等の合成法の高度化と用途開発を行う。

#### [中期実績]

・スーパーグロース法の実証プラントを立ち上げ、600g/日の生産能力を実現し、用途開発企業などに試料を200件以上提供し、協力企業による商業工業上市を実現した。低ダメージのCNTの乱流分散技術を開発し、分散体をフッ素ゴムと複合化することで95W/mKの高伝熱ゴムを実現し、企業の実用化研究のために技術移転した。銅と同程度の導電率(室温で $4.7 \times 10^5 \text{S/cm}$ )で、 $6 \times 10^8 \text{A/cm}^2$ 以上の耐電流密度を有するCNT銅複合材料を開発し、Nature Communication誌に掲載された。人体の動きを高速で測定できる歪みセンサーを開発し、Nature Nanotechnology誌に掲載された。eDIPS法で合成したSWCNTの構造制御を検討し結晶性をG/D比200以上に向上することにより、透過率92%シート抵抗325 $\Omega/\text{sq}$ (従来値:透過率89%で405 $\Omega/\text{sq}$ )まで、透明導電性フィルムの特性を達成した。eDIPS法単層CNTの分散液インクを用いた印刷製造技術により移動度 $10 \text{cm}^2/\text{Vs}$ 以上とオンオフ比 $10^6$ 以上の性能を有する薄膜トランジスタを実現した。

・CNT品質管理に資する、遠赤外吸収を利用したCNT長さ評価法および遠心沈降法を利用した分散液中のCNT凝集状態評価法を確立した。CNTを近赤外蛍光ラベルとして用いた免疫沈降反応に世界に先駆けて成功した。CNTとナノホーン、およびその表面に修飾を施したものに対して詳細に構造を解析した。また、生体関連物質あるいは生体との相互作用を詳細に調べ、低毒性であることを確認した。さらに、医療応用に関しては、生体透過性が高い近赤外光に対して光熱変換する性質を利用したユニークな医療応用が可能であることを示した。有機ナノチューブの合成法高度化技術では、平成24年度の抗がん剤の放出制御機能の開発、また平成26年度のゲルとの複合化技術の開発に成功し、これらより薬剤徐放型コンタクトレンズとしての有用性を明らかにした。また当初期待していなかった展開として、平成22年度にチューブナノ空間がタンパク質を安定化する機能を有すること、平成24年度に変性タンパク質を正常な立体構造に折り畳ませることにより活性を回復させる機能を見だし、医薬品産業等への応用可能性を示した。

・第3期はグラフェンの量産技術の開発を目標に、課題の調査とその解決に向けた方策の検討から開始した。各種合成法を試験し、高スループット合成の可能性が最も高い方法としてプラズマCVDを選択し、独自のプラズマCVDにより低温、大面積、高速のグラフェン合成を実証し可能性を確認した。この段階で静電容量型タッチパネルを動作させ応用の可能性を確認した。さらに送り速度1cm/秒のロールツーロール法による高速グラフェン合成を実証した。その後プラズマパラメータ、合成用基材、転写技術、安定したドーピング技術などすべての工程を再検討し、プラズマCVDで高速合成したグラフェンで熱CVDと同等の性能を達成しうることを確認および低抵抗化の方針を得た。その方針に基づき抜本的な導電性向上に向け、グラフェンの核発生密度と成長速度を制御し二次元成長を促進する手法を開発した。これにより結晶性と層数制御性を格段に向上し、結晶サイズを従来の10nm程度から100nm程度に拡大した。これに伴い従来 $100 \text{cm}^2/\text{Vs}$ 程度であった移動度を $1000 \text{cm}^2/\text{Vs}$ 以上に向上した。これと並行して成長初期段階の詳細観察に基づいてグラフェンの結晶性および層数制御性の格段の向上を達成した。さらに原子層グラフェンの転写技術およびドーピング技術を向上し、さらなる高導電性と高フレキシビリティを達成した。これにより透過率95%(2層)でシート抵抗130 $\Omega$ を達成し、移動度も $2000 \text{cm}^2/\text{Vs}$ 以上を実現、A4サイズの面積で透過率93%、シート抵抗300 $\Omega$ を達成した。

・単層CNTのエレクトロニクス応用の鍵となる金属型と半導体型のCNTの分離技術の開発を行った。産総研で独自に開発した、ゲルを用いた分離法を発展させて、カラムを用いた簡便な方法で大量分離(10g/day)を可能とした。分離純度95%、収率80%の中期目標を達成した。また、大量のCNT試料を少量のゲルに添加する新規カラム分離法を開発し、単一構造のCNTを大量に分離可能で、半導体純度が99%に達する分離手法を開発した。分離原理に関する基礎知見を得る一方で、応用開発を目指した研究も推進した。高品質半導体型CNTを用いた薄膜トランジスタで世界最高レベルの性能(移動度 $106 \text{cm}^2/\text{Vs}$ 、on/off比 $10^5$ 以上)を得た。分子内包によるCNTのp/n制御とこれらを組み合わせたCMOS型論理回路の動作実証にも成功した。

#### 4-(2)-② 単結晶ダイヤモンドの合成及び応用技術の開発

##### [中期計画]

・次世代パワーデバイス用ウエハ等への応用を目指して、単結晶ダイヤモンドの成長技術及び結晶欠陥評価等の技術を利用した低欠陥2インチ接合ウエハ製造技術を開発する。

##### [中期実績]

・接合ウェハ作製プロセスにおいて、境界方向とオフ方向(ステップフロー方向)のずれを最適化することにより、接合境界上に発生する異常粒子や破壊を抑制するとともに、シミュレーションを併用したプラズマ均一化により、面積では2インチを上回り、世界最大の60×40mm<sup>2</sup>の接合ウェハを作製することに成功した。ダイヤモンドの結晶欠陥評価技術に基づく種結晶の選別技術を確立するとともに、表面損傷層の深さを同定し、エッチングによりこれを取り除く技術を開発した。さらに、低窒素濃度域での結晶成長条件を確立し、独自開発のウェハコピー技術(ダイレクトウェハ化技術)による低欠陥ウェハコピー条件を明確化した。低欠陥種結晶から、部分的に世界トップレベルの転位密度400個/cm<sup>2</sup>を有する低欠陥ウェハをコピーすることに成功した。以上の成果により、2インチ低欠陥ウェハ製造技術を開発した。

#### 4-(3) ナノエレクトロニクスのオープンイノベーションの推進(Ⅲ-1-(3)へ再掲)

##### [中期目標]

高付加価値デバイスの効率的、効果的な技術開発のため、ナノエレクトロニクスのオープンイノベーションのためのプラットフォームを整備し、オープンイノベーションを推進する。また、高性能かつ高機能なナノスケールの光、電子デバイスの開発を行う。

##### [中期計画]

次世代産業の源泉であるナノエレクトロニクス技術による高付加価値デバイスの効率的、効果的な技術開発のために、つくばナノエレクトロニクス拠点を利用したオープンイノベーションを推進する。つくばナノエレクトロニクス拠点において、高性能、高機能なナノスケールの電子、光デバイスの開発を行うとともに、最先端機器共用施設として外部からの利用制度を整備することにより、産学官連携の共通プラットフォームとしての活用を行う。

#### 4-(3)-① ナノスケールロジック・メモリデバイスの研究開発

##### [中期計画]

・極微細CMOSの電流駆動力向上やメモリの高速低電圧化、集積可能性検証を対象に、構造、材料、プロセス技術及び関連計測技術を体系的に開発する。これによって、産業界との連携を促進し、既存技術の様々な基本的限界を打破できる新技術を5つ以上、創出する。

##### [中期実績]

・第3期中期計画においては、極微細CMOSの電流駆動力向上と微細化限界打破のために、シリコンナノワイヤ形状制御技術を開発し、断面寸法が10nm以下の極めて微細なSiナノワイヤトランジスタの動作実証に成功することで、微細化限界を打破できる新技術を1つ創出した。

・第3期中期計画においては、極微細CMOSの電流駆動力向上の為に、1)シリコンナノワイヤ形状制御技術を提案した。これより、従来技術では達成しえない平坦形状を有するナノワイヤ形成に成功した。ロジック回路の圧倒的な省電力のため、2)合成電界型のトンネルトランジスタ(TFET)を提案し、物理限界である60mV/decを凌駕する急峻性と、Si系世界最高ON電流を実現した。平成26年度にはCMOS化の基本プロセスを構築した。さらに、産総研独自技術の3)等電荷トラップ導入TFETを創出し、既存技術の様々な基本的限界を打破できる新技術を3つ創出した。また、デバイス実証に留まらず、トンネルトランジスタのTCADモデル、及び回路性能予測のコンパクトモデルを構築し、極低電圧CMOSの基本技術を体系的に開発することに成功した。

・極微細トランジスタの高性能化に必要となる、立体チャネル構造に適用可能な高被覆金属膜堆積手法を用いた立体ゲート電極プロセスを開発した。具体的には、化学気相蒸着法によるNi膜の堆積とシリサイド電極の形成を検討し、原料となるNiの有機金属化合物の選択と製膜プロセスの最適化により、開口アスペクト4程度のトレンチ形状において95%以上の高被覆のNi膜が形成できることを確認し、さらにシリサイドプロセスを施すことで低抵抗なNiシリサイド電極が形成できることを示した。また、原子層堆積法によるTiN膜の堆積を検討し、開口アスペクト10程度のトレンチで100%の高被覆かつ低抵抗なTiN電極膜を堆積できることを確認した。これらの新規に開発した立体ゲート電極プロセスを別途開発した10nm幅の極細線チャネル構造と組み合わせることで、従来のスパッタによる電極形成に比べ配線抵抗を1/2以下に低減できることを示した。

・InGaAsをチャネルとして用いたMOSFETにおけるMOS界面の高品質化のために、InPキャップ層や高

誘電率ゲート絶縁膜の形成技術、及び、界面への VI 族元素導入技術を開発するとともに、Se 処理、窒化処理、及び、絶縁膜形成初期過程における原料供給量制御の効果を明らかにした。InP 基板上に成長した InGaAs チャネル、および、Si 基板上に Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 埋め込み層を介して形成した極薄 InGaAs チャネルにおいて、電気双極子揺らぎやラフネス等のキャリア散乱要因を同定し、移動度改善の指針を得た。埋め込み絶縁層の上に貼り合わせ法によって形成した InGaAs チャネルにおいては、素子特性に影響を与えるカチオンオーダーリングの存在を見出した。CMOS プロセスへの適用を念頭に、InGaAs と Ni の合金化によるソースドレイン形成の再現性と信頼性を高めるとともに、InGaAs と Ge の集積を容易にする TiN コモンゲート構造によるトランジスタ動作を実証した。

・酸化物界面の化学反応を制御するナノ空間制御技術をコア技術として産業界との連携を促進し、メモリの高速低電圧化、集積可能性検証、動作信頼性評価手法の開発に成功した。

#### 4-(3)-② ナノフォトニクスデバイスの研究開発

[中期計画]

・LSI チップ間光インターコネクションにおいて10Tbps/cm<sup>2</sup>以上の情報伝送密度を実現するために、半導体ナノ構造作成技術を用いて、微小光デバイス、光集積回路及び光、電子集積技術を開発する。また、3次元光回路を実現するために、多層光配線、電子回路との集積が可能なパッシブ及びアクティブ光デバイス、それらの実装技術を開発する。

[中期実績]

・第3期計画のLSI間光インターコネクション実現のために、化合物半導体フォトニック結晶微小光源・Si細線導波路結合構造の開発を進めQ値10000、光取り出し効率90%の構造設計を達成した。光源技術としては高効率な量子ドットレーザ開発を進め、最適構造を有する分布帰還型レーザや3次元光集積回路に適合した面出射型での発振も実現した。また、光インターコネクションに向けたポリマー光回路に関する研究を進め、同基板上へのLD光源実装、同基板上Cuマイクロミラー、同基板上1.3μm帯量子ドット面出射レーザ等を実現した。さらにアクティブポリマー光源の開発を目指した劣化の少ない加工条件を得て、有機結晶pn接合膜からなるEL素子の大幅な低抵抗化に成功した。光増幅能を有するポリマー光導波路に関しては、反転分布が可能な有機結晶を効率よく形成できる手法や条件を確立し、一部材料では、有機半導体ダブルヘテロ構造での光励起発振に成功した。ポリマー光回路上のマイクロミラー開発等は光電子ハイブリッド基板技術とともに、消費電力10%よりさらに大幅な削減を目指すNEDO-PJ「光エレ実装」に組み込まれ、他の技術もそれぞれ産業応用を目指した基盤技術の構築に寄与した。

・シリコンフォトニクス集積プロセスを開発、個別デバイスや光集積回路等も開発したうえ、最終年度を2年前倒しで目標を大きく上回る情報伝送密度30Tbps/cm<sup>2</sup>を達成した。さらに、125°Cまで無調整で動作する光集積回路を開発した。世界最高性能の低伝搬損失アモルファスシリコン光導波路を開発し、多層光回路および電子回路等の段差構造上光回路の基本構造を実証した。加えて、多層光回路間の信号伝送デバイスおよび層構造光変調デバイスを提案、動作実証を行った。さらに、実装技術として、1300nm帯域のマルチモードポリマ光回路を開発し、25Gbpsのエラーフリー信号伝送に成功した。

#### 4-(3)-③ オープンイノベーションプラットフォームの構築

[中期計画]

・産業競争力強化と新産業技術創出に貢献するため、ナノエレクトロニクス等の研究開発に必要な最先端機器共用施設を整備し、産総研外部から利用可能な仕組みを整えるとともに、コンサルティングや人材育成等も含めた横断的かつ総合的支援制度を推進する。当該施設の運転経費に対して10%以上の民間資金等外部資金の導入を達成する。

[中期実績]

・産業競争力強化と新産業技術創出に貢献するため、ナノエレクトロニクス等の研究開発に必要な最先端機器共用施設を整備し、産総研外部から利用可能な仕組みを整えるとともに、技術相談や人材育成等も含めた横断的かつ総合的支援制度を推進した。当該施設の運転経費に対して10%以上の民間資金等外部資金の導入を達成した。

・産総研スーパークリーンルームにおいて、共用環境を整備すると同時にシリコンフォトニクス集積プロセスを

開発し外部利用を可能にした。100mm CMOS ラインに基づいたプロセス装置群では、シリコン上高品質ゲルマニウム結晶の成長装置を導入、選択成長技術を開発した。同時に、フォトクスデバイス、フォトクス回路に最適化したプロセスの開発を行った。これらにより世界最高の伝送帯域密度集積光電子回路を制作可能とした。また、300mm ラインでは液浸 ArF 露光装置の性能をフルに活用し、光導波路の形状に関して面内均一性の非常に高い光回路の作成プロセスを実現した。これらの結果、3 つの国家プロジェクトや共同研究、大学等のマルチプロジェクトウエハ等で活用された。

## 5 産業の環境負荷低減技術の開発

### [中期目標]

産業の環境への負荷を最小限にするため、機械加工、化学、バイオ等の各種製造プロセスの効率化技術の開発を行うとともに、環境保全技術の開発を行う。

### [中期計画]

産業分野での省エネルギー、低環境負荷を実現するためには各産業の製造プロセス革新が必要である。そのため、最小の資源かつ最小のエネルギー投入で高機能材料、部材、モジュール等を製造する革新的製造技術(ミニマルマニファクチャリング)、化学品等の製造プロセスにおける製造効率の向上、環境負荷物質排出の極小化、分離プロセスの省エネルギー化を目指すグリーンサステナブルケミストリー技術の開発を行う。また従来の化学プロセスに比べ、高付加価値化合物の効率的な生産が可能なバイオプロセス活用技術、小型、高精度で省エネルギー性に優れたマイクロ電子機械システム(Micro Electro Mechanical Systems: MEMS)の開発を行う。さらに、様々な産業活動に伴い発生した環境負荷物質の低減及び修復に関する技術の開発を行う。

### 5-(1) 製造技術の低コスト化、高効率化、低環境負荷の推進

#### [中期目標]

製造技術の低コスト化、高効率化及び低環境負荷を実現するための、革新的製造技術であるミニマルマニファクチャリングの開発を行う。また、レーザー加工技術による高効率なオンデマンド技術の開発を行う。

#### [中期計画]

製造プロセスの省エネルギー、低環境負荷に貢献する革新的製造技術であるミニマルマニファクチャリングの開発を行う。具体的には、多品種変量生産に対応できる低環境負荷型製造技術、セラミック部材と表面加工技術を用いた省エネルギー製造技術及び希少資源の使用量を少なくしたエネルギー部材とモジュールの製造技術の開発を行う。また、高効率オンデマンド技術の一つとして、炭素繊維等の難加工材料の加工が可能となるレーザー加工技術の開発を行う。さらに、機械やシステムの製品設計及び概念設計支援技術の開発を行うとともに、ものづくり現場の技能の可視化等による付加価値の高い製造技術の開発を行う。

#### 5-(1)-① 多品種変量生産に対応できる低環境負荷型製造技術の開発

##### [中期計画]

・デバイス製造に要する資源及びエネルギー消費量を30%削減するために、必要な時に必要な量だけの生産が可能で、かつ多品種変量生産に対応できる製造基盤技術を開発する。また、ナノ材料を超微粒子化、溶液化し、それらを迅速に直接パターンニングするオンデマンド製造技術を開発する。

##### [中期実績]

・レーザー援用 IJ により、線幅:5 $\mu$ m、アスペクト比:1 以上の導体描画を実現した。これにより従来のスクリーン印刷法に比べ、インク使用料を 40~80%削減した。また、レーザーアニール法の導入によりプロセス消費エネルギーを約 40%削減した。光 MOD において、ナノ粒子を用いた原料や光照射プロセスの改良により、シート抵抗 50 $\Omega$ /cm<sup>2</sup>の透明導電膜や、現行安全標識輝度比で 2 倍の蛍光体薄膜を実現した。さらに A4 サイズの面積に対し、4sec 以下の高速欠陥検出装置を独自開発し、オンデマンドリペアの可能性を検証、民間企業との共同研究を通して、実用的な用途が確認された。温間スピニング加工法では、マグネシウム合金の深絞り加工を実現した。さらに独自開発した熔融圧延法と組み合わせ、製造時におけるエネルギー消費量 30%削減に見通しをたて、加えて金型材使用量 84%削減に成功した。3D 積層造形では、ブレード形状の成形にお



いて他の製造法と比較して60%以上の資源削減を確認し、さらにIJ法を利用した鋳造用鋳型製造用のプロトタイプ装置を開発した。

・エレクトロニクスデバイスの製造コスト低減と高効率化、低環境負荷化を実現するため、印刷法によってデバイスを作製するためのプロセス技術の開発をおこない、変量多品種生産に適応可能な低環境負荷型製造プロセスの開発における基盤技術を確立した。薄膜トランジスタアレイの作製に必要な超微細パターンニング技術として、平成25年度までにオンデマンド性に優れたスーパーインクジェット技術の他、高効率なマイクロコンタクトプリント技術や反転オフセット印刷技術を開発し、平成26年度には $5\mu\text{m}$ 以下の線幅の細線を $\pm 5\mu\text{m}$ でのアライメント精度で印刷する技術を開発した。厚膜の印刷パターンニング技術として、新規にスクリーンオフセット印刷技術を開発し、平成26年度までに $15\mu\text{m}$ 幅の細線を200枚以上連続で印刷形成可能にし、その時の線幅と膜厚の再現性を10%以下に抑えることに成功した。

・必要な時に必要なだけ生産可能なミニマルファブの前工程システムの主要部を開発した。具体的には、クリーンルームを必要としない局所クリーン化搬送システムを開発し、目標値の30%を大幅に上回る建屋の省エネ化を実現した。更に、プロセス装置を1つのサイズに標準化したミニマル装置群(洗浄、塗布、現像、マスクレス露光、スパッタ堆積、エッチング、酸化炉、加熱炉など)を開発した。これらのミニマル前工程装置群を用いてMOSFETの試作に成功した。

### 5-(1)-② 高性能セラミック部材と表面加工技術を用いた省エネルギー製造技術の開発

#### [中期計画]

・製造産業における生産からリサイクルに至るプロセス全体の省エネルギー化を図るために、断熱性等の機能を2倍以上とした革新的セラミック部材等の製造技術、及び機器及びシステムの摩擦損失を20%以上低減させる表面加工技術を開発する。

#### [中期実績]

・革新的セラミック部材の製造技術において、断熱中空ユニットを組み合わせた球状構造の容器を考案・試作し、従来の断熱容器と比べて放熱量が58%低減されることを確認し、断熱性等の機能を2倍以上とした本課題の中期計画を平成24年度に前倒しで達成した。さらに、高温溶融塩用蓄熱容器への展開を目的とし、中空ユニット表面にニッケルメッキを施すことにより、耐食性、断熱性を有する部材を実現した。高気孔率と高強度を兼ね合わせた多孔体の製造技術を開発し、高温工業炉用断熱材への展開を図るため、 $1500^{\circ}\text{C}$ 以上の耐熱性を有する材料で本構造を製造することに成功した。また、天然原料を用いた断熱材も試作し、従来の断熱レンガに比べて同強度のものにおいては、2倍以上の断熱性を持つことを示した。表面加工技術の開発においては、摩擦損失の低減を目的に、マイクロ構造とナノ構造を合わせることにより、摺動時に自己再生するナノストライプ構造を提案し、炭化ケイ素層と炭素層の交互組み合わせが、本構造の発現に有効であることを明らかにした。さらに、本構造をすべり軸受けに適応することで、摩擦損失を20%以上低減可能なことを実証し、中期計画目標を達成した。

### 5-(1)-③ 資源生産性を考慮したエネルギー部材とモジュールの製造技術の開発

#### [中期計画]

・固体酸化物形燃料電池や蓄電池用の高性能材料、部材及びモジュールを創製するため、希少資源の使用量を少なくし、従来に比べて1/2以下の体積や重量で同等以上の性能を実現する高度集積化製造技術や高スループット製造技術を開発する。

#### [中期実績]

・次世代SOFC用電極材料の耐久性、信頼性向上に向け、身近なLPG燃料等の利用でも $600^{\circ}\text{C}$ の低温でコーキングの劣化が少なく、かつ発電が可能なマイクロSOFC電極を有するセル・スタック製造技術等を開発し、持ち運び可能な小型電源に適応可能で体積出力密度が従来の2倍の小型移動体向けモジュール製造技術を開発した。従来型燃料電池と異なるSOFCの新たな用途の実用化にむけ、製造メーカー、システムメーカー等との連携によりマイクロSOFC材料・製造技術をベースとしたマイクロSOFC型小型電源の開発プロジェクトを開始した。さらに、次世代自動車用蓄電池等の技術開発として、高容量・低コスト新規酸化物電極材料の開発を目指し、コバルトやニッケルを含まず、従来の2倍の容量を持つ新規マンガン系の正極材料や高容量の新規負極材料等の開発に成功した。また、高容量・低コスト電池モジュール化技術の開発に向け、全

固体化に適用可能な新規酸化物系固体電解質材料の特性改善に成功した。超電導デバイス技術として、企業での製品化展開に合わせ、ロードマップでのデバイス研究展開を優先的に加速し、一部、企業へ技術移転を行った。

#### 5-(1)-④ レーザー加工による製造の高効率化

[中期計画]

・自動車製造工程等に適用できるタクトタイム1分以内を実現する炭素繊維強化複合材料等のレーザー加工技術の開発、及び従来のフォトリソグラフィ法等の微細加工技術に比較して30%以上の省工程・省部品化処理が可能なオンデマンド加工技術を開発する。

[中期実績]

・自動車製造工程等に適用できるタクトタイム 1 分以内を実現する炭素繊維強化複合材料等(CFRP、CFRTP)のレーザー加工技術の開発について、NEDO-PJ 開発品の高出力レーザー装置を使用した切断プロセス制御因子の最適化によって3mm厚試料に対して高品位状態を保持しつつタクトタイム1分に相当する目標値 6m/分を検討した。最高 10m/分の加工速度を達成し、タクトタイム 1 分以内の加工速度を実証できた。併せて、各種の CFRP、CFRTP 材料のレーザー加工特性ならびに材料評価技術を精査し、系統的な加工データ取得に成功した。また、省工程・省部品化処理が可能なオンデマンド加工技術に関しては、レーザー誘起背面湿式加工法について、サファイヤガラスや化学強化ガラスの微細加工工程を最適化し、従来法よりも40%省工程で処理できる製造ライン用加工装置の開発に成功した。また、先端薄膜材料に対するオンデマンド表面加工に関して液膜レーザー反応法および CIGS 薄膜太陽電池のレーザースクライブ法を検討し、リソグラフィ法と比較して液膜レーザー反応法では 40%省工程化できることを見いだした。

#### 5-(1)-⑤ 製造分野における製品設計・概念設計支援技術の開発

[中期計画]

・機械やシステムの基本設計に必要とされる候補材料の加工に対する信頼性、機械寿命、リサイクル性を予測するために、実際の運用を想定した評価試験と計算工学手法を融合したトータルデザイン支援技術を開発する。企業における有効事例を 3 業種以上構築する。

[中期実績]

・材料評価試験や計算工学手法を融合したデザイン支援システムのコア技術として、デザイン・ブレイン・マッピングツール(DBM)を開発し、現有する各種シミュレーションツールとの効率的な運用方法等について事例を通じて検討した。まず、加工試験やシミュレーション結果といった数値データの関係を計算機上でDBMとして統合化することで、素材レベルから製品レベルまでの設計因子の関係を一元管理するシステムを開発した。次に大規模プロジェクト開発の例として、宇宙機器開発における意思決定の過程を分析した。プロジェクトに係る種々の記録を分析した結果、モデルには設計因子の関係を記述した DBM モデルと、計算や実験による検証モデルが存在し、両者が相互に影響し経時的に発展するようプロジェクト管理することが重要であることを見出した。さらに DBM と他のシミュレーションツールとの連携可能性検証を目的として、DBM の製品企画やマーケティング分野への適用を試みた。詳細な離散事象シミュレーションによる普及予測に先立つ思考実験において、DBM が有効であることがわかった。以上、中期計画目標である事例研究 3 件を達成した。

#### 5-(1)-⑥ 現場の可視化による付加価値の高い製造技術の開発

[中期計画]

・製造プロセスの高度化及びそれを支える技能を継承するために、ものづくり現場の技能を可視化する技術、利便性の高い製造情報の共有技術、高効率かつ低環境負荷な加工技術を開発する。成果を企業に導入し、顕著な効果がある事例を50件構築する。

[中期実績]

・機械部品製造に係る幅広い加工技術情報をインターネットで公開する「加工技術データベース」、自社の技術・技能の分析・蓄積・利用による技能の継承・共有化ツール「加工テンプレート」、高度な IT 知識を必要としない業務用ソフトの開発環境「MZプラットフォーム」を開発し、「ものづくり支援ツール」としてまとめ、公設研や

工業会等とも連携して成果の企業への導入を進めた。その結果、MZ プラットフォームでは、技術移転 4 件、共同研究に伴う IT システム実用化 14 件、社内 IT システム開発 32 件を達成した。共同研究成果はプレス発表も行い、社内 IT システム開発の一部は新聞報道でも取り上げられた。加工テンプレートでは、普及活動により技術移転するとともに、テンプレート技術をベースとして生産設備に実装することを目的とした「ヒューマンスキルアシスト型注湯制御技術の開発」などサポイン事業等の共同受託、さらに企業との共同研究等を行い顕著な事例 11 件を構築した。以上を総合して、中期目標である 50 事例を超える成果を達成した。

## 5-(2) グリーンサステナブルケミストリーの推進

### [中期目標]

酸化技術、触媒技術、膜分離技術、ナノ空孔技術、マイクロリアクター技術、特異的反応場利用技術等を用いた環境負荷の少ない製造プロセス技術の開発を行う。

### [中期計画]

各種産業の基幹となる高付加価値化学品等の持続的な生産、供給を実現するため、製造効率の向上、環境負荷物質排出の極小化、分離プロセスの省エネルギー化等を実現するプロセス技術の開発を行う。具体的には、精密合成技術、膜分離技術、ナノ空孔技術、マイクロリアクター技術、特異的反応場利用技術等の開発を行う。

### 5-(2)-① 環境負荷物質の排出を極小化する反応、プロセス技術

#### [中期計画]

・酸化技術、触媒技術、錯体・ヘテロ原子技術、ナノ空孔技術、電磁波技術等を用いることにより環境負荷物質排出を極小化し、機能性高分子材料、電子材料、医薬品中間体、フッ素材料等を合成するプロセス技術を開発する。特に、反応率80%以上、選択率90%以上で目的製品を得ることができる過酸化水素酸化プロセス技術を開発する。また、触媒開発においては、触媒の使用原単位を現行製造法の20%以下にする技術を開発する。

#### [中期実績]

・過酸化水素酸化プロセス技術の開発について、テルペンの酸化、スチレン類のエポキシ化、グリシジルエーテル合成などの高難度基質の酸化において反応率 80%以上、選択率 90%以上の目標値を達成した。さらに、企業との連携により本酸化技術を応用したエポキシ樹脂の作成、製品化を推進した。有機 EL 素子の燐光材料を効率良く合成するために、従来の三塩化イリジウムに代わるハロゲンフリーイリジウム原料として新たに酢酸イリジウムを用いる合成法を開発し、様々なタイプの有機 EL 燐光材料(青、緑、赤色材料)を収率 60%以上で合成することに成功した。また、高機能有機ケイ素部材用触媒開発について、非対称シロキサン構造を非水条件で形成する触媒技術や、ケイ素-酸素結合を持つ化合物であるアルコキシシランの合成において、高選択的に複数の異なるアルコキシ基を持つアルコキシシラン類を合成する触媒技術を見出した。

・安価なニッケルや銅触媒を用いるリン-水素結合の選択的変換反応を見出し、アルケニルリン類や P-P 結合 P-O-P 結合を有する各種機能性リン類を 95%以上の収率で製造する技術を開発した。また、ホスフィン化合物を化学結合で高分子の骨格に固定させることにより、新しいポリマー型リン配位子を開発し、ポリマー型ニッケル触媒が高収率で得られた。得られた触媒は、ビニルリン類の製造反応において高い触媒活性を示した。ヒドリドニッケル錯体などの反応中間体の単離に成功し、アルキンとの反応によりアルケニル金属活性種経由でアルケニルリン類が生成することを明らかにした。一方、光学活性リン化合物の効率的製造法の開発では、リン-水素結合の立体特異的なハロゲン化反応を開発し、光学活性なハロゲンリン類の合成に成功した。また、反応性光学活性リン類モノマーの合成に成功し、これらを重合させることにより光学活性な含リンポリマーを得た。これら活性リン類を用いた高効率不斉水素化反応を見出した。さらに、放射線や電子線を用いることにより、金属触媒を用いないヘテロ原子化合物の製造法を開発した。

・機能性化学品の高効率、高品質、低環境負荷製造を実現するためのキーテクノロジーの一つである分子触媒の固定化・リサイクル技術の開発を行った。具体例として、硫黄系配位子等を多点結合型リンカーを介してナノ空孔を持つシリカに固定化したパラジウム錯体触媒を開発、鈴木カップリング反応において高い活性とリサイクル性を実現した。また磁石により触媒の回収が可能な磁性ナノ粒子固定型酸化オスミウム触媒を開発、オレフィンのジヒドロキシル化反応において高いリサイクル性を実現した。さらにシリカへの白金の高分散担

持技術を開発、水素化反応等において白金使用量を大幅に低減可能であることを実証した。いずれも触媒の使用原単位を現行製造法の 20%以下にすることのできる技術である。また、触媒と担体表面との協働効果、反応促進剤の集積化等、触媒固定化技術の基盤を構築した。

・冷媒や発泡剤などに使用されるフッ素系化合物について、原料コストやプロセスの簡便性等を考慮した合成ルート探索を行うとともに、独自開発した金属フッ化物触媒等の適用または改良により合成法を高効率化した。このうち、高効率化を実現した 1 化合物の製造プロセスについては、企業への技術移転に結びつけた。また、フッ素合成技術を活用した新材料や新用途としての二次電池用電解質や高温ヒートポンプ用冷媒の開発へ展開するとともに、用途特性や安全性の向上が期待されるフッ素系化合物を複数提案し、その優位性を明らかにした。さらに、独自開発したフッ素系化合物に加えて、企業における開発品の環境影響評価や燃焼性評価、実用条件における安全性評価等の実施により、冷凍空調機器メーカーや化学材料メーカーにおける開発や国際標準化活動を支援した。

・スピントラップ ESR 法や MALDI-TOF-MS 法、速度論解析などの組み合わせにより、機能性高分子材料や電子材料等の評価・解析手法としての新しい光酸化劣化解析手法を開発した。この評価・解析手法をベースに、有機半導体や周辺部材などの劣化解析、耐久性評価へ適用することにより、劣化構造－機能相関解析や高耐久化設計に有効であることを明らかにした。水蒸気バリア性評価に関して、測定のばらつき要因を解析・適正化した、ISO/TC61(プラスチック)提案などを推進するとともに、有機エレクトロニクスデバイスのバリア性に起因する寿命評価・予測の道を拓いた。また、生分解性や安全特性などの評価方法の ISO 国際標準規格化、並びに JIS 標準規格化活動を推進した。

## 5-(2)-② 化学プロセスの省エネルギー化を可能とする分離技術

### [中期計画]

・化学プロセスの省エネルギー化の実現に資する膜分離、吸着分離等の技術を開発する。具体的には、膜性能の向上、膜モジュール技術の開発、膜分離プロセスの設計を進めることにより、蒸留等を用いた現行プロセスの消費エネルギーを50%削減できる膜分離技術を開発する。また、ナノ多孔質材料の細孔表面の修飾や有機材料等との複合化、細孔の配向性制御、吸着特性評価等の技術を開発し、従来比25%以上の省エネルギー化が可能な産業分野用吸着分離プロセスを開発する。

### [中期実績]

・水素精製用箔状金属膜の開発においては、箔状パラジウム合金膜を用いて気密性の高い積層型膜モジュールを開発し、6L/分を越える水素精製能を有するプロトタイプを開発した。分子ふるい炭素膜による化学原料の脱水精製について、水/イソプロパノールおよび水/酢酸系の開発を行い、炭素膜の構造制御等により、数千以上の水選択性を得ることに成功した。この実験結果をもとに脱水精製プロセスを設計計算した結果、従来の蒸留法と比較して、分離にかかる消費エネルギーをイソプロパノール系で90%以上、酢酸系で87%削減できることを明らかにした。また、新規膜素材として金属有機構造体を用いた分離膜の開発を行った。作製条件最適化の検討を行い、分離層厚みの低減およびプロピレン/プロパン選択性 100 以上への向上に成功した。

・ゼオライトやメソポーラスシリカを中心として、ナノ多孔質材料の細孔表面の修飾や有機材料等との複合化、細孔の配向性制御、吸着特性評価等の技術開発において、材料合成・モジュール形成・特性評価技術を中心に研究を展開した。その結果、水蒸気吸着剤については表面特性の高度制御による親疎水性の制御と吸着初期過程を高精度で測定するための新たな吸着特性評価手法を確立し、従来比 25%以上の省エネルギー化が可能な高効率デシカントシステムを開発するとともに、新たな形態のデシカントシステムを提案するに至った。また、ナノ細孔構造制御開発に関する一連の研究をベースとして、硫黄不純物の除去や、排水からのほう素除去を高効率で実現することが可能な吸着剤の開発を実施し、それぞれについて新たな低コスト吸着システムの提案を行った。

## 5-(2)-③ コンパクトな化学プロセスを実現する技術

### [中期計画]

・高温高圧エンジニアリング技術、マイクロリアクター技術、膜技術、特異的反応場利用技術等を用い、有機溶媒の使用を抑制したプロセスや、適量分散型で短時間に物質を製造できるプロセス技術を開発する。特に、

機能性化学品を合成する水素化反応において、有機溶媒を用いず、従来法に比べ150%以上の反応効率を達成する。

[中期実績]

・有機溶媒を使用しない低環境負荷プロセスを実現するため、特異的反応場として水や二酸化炭素を利用し効率の高いプロセス技術を開発した。これにより機能性化学品の合成に重要な水素化触媒反応プロセスにおいて、従来法に比べて150%以上の高い反応効率を達成した。具体的には、機能性化学品の合成に重要なケトンの水素化反応において、二酸化炭素と水の混合溶媒および担持金属触媒を用いるプロセスを開発し、アセトフェンの水素化による香料原料1-フェニルエタノールを、従来法に比べて200%の反応速度で合成することに成功した。さらに反応の適用範囲を拡大し、香料原料等に利用されるテトラヒドロフルフリルアルコールをフルフラールの水素化により、従来法に比べて160%の反応速度で選択的に合成することに成功した。さらに樹脂原料や香料原料等に利用されるラクトンの合成のため、水溶媒と固体酸触媒および担持金属触媒を用いる水素化触媒反応プロセスを開発し、レブリン酸メチルから $\gamma$ -バレロラクトンの選択的合成において、従来法に比較して300%の収率を達成した。

### 5-(3) バイオプロセス活用による高効率な高品質物質の生産技術

[中期目標]

微生物や酵素を利用したバイオプロセス技術の開発を行う。特に、微生物資源や有用遺伝子の探索と機能解明、生体高分子や生体システムの高度化、遺伝子組換え植物産出技術と植物工場システムの開発を行う。

[中期計画]

微生物や酵素を利用したバイオプロセスは、化学プロセスに比べて反応の選択性が極めて高く、高付加価値化合物の効率的な生産が可能である。バイオプロセスの広範な活用とバイオものづくり研究の展開のため、微生物資源や有用遺伝子の探索と機能解明、生体高分子の高機能化とバイオプロセスの高度化技術、設計技術及び遺伝子組換え植物の作出技術の開発と密閉式遺伝子組み換え植物生産システムの実用化を行う。

#### 5-(3)-① 微生物資源や有用遺伝子の探索と機能解明（I-3-(1)-②へ再掲）

[中期計画]

・未知微生物等の遺伝資源や環境ゲノム情報、機能の高度な解析により、バイオ変換において従来にない特徴を有する有用な酵素遺伝子を10種以上取得する等、酵素、微生物を用いた実用的な高効率変換基盤技術を開発する。

[中期実績]

・バイオ変換において有用な酵素遺伝子については、 $\beta$ -グルコシダーゼを標的に酵素スクリーニングを行い、1000超の酵素を取得した。このうち、リグノセルロース系バイオマスの高度利用に特に有用な形質となるグルコース耐性を有した $\beta$ -グルコシダーゼを二次スクリーニングし、20種以上取得した。この他にも、アルカリラッカーゼや耐熱性キシラナーゼなどを獲得した。またバイオ変換における有用な宿主開発として、大腸菌をプラットフォームとし、リボソーム工学の手法を用いて宿主機能改変する方法を開発した。本手法の基礎となる16S rRNAの置換変異については、その成果をプレスリリースする等、大きな成果を挙げた。得られた変異株の詳細な表現型解析により、工業上有用と思われる様々な性質（異種遺伝子発現能、増殖能、高温適応能等）に優れた変異株が創出できることを確認した。

・酵母による機能性脂質生産においては、脂質生産性の高い酵母宿主株の創製をめざして遺伝子改変を行い、ヒストンアセチル化酵素Esa1pが発現低下したdga1破壊株に変異DGA1を発現させて、脂質含量45%の高い脂質蓄積性株を得ることに成功した。また、 $\Delta 6$ 不飽和化酵素を発現した酵母によるステアリン酸生産において、ヒスチジンと界面活性剤の高濃度同時添加で当初の4倍以上に生産量を増加させることに成功した。さらに、ヒドロキシラーゼ遺伝子が発現した酵母によるリシノール酸生産において、宿主に対するリシノール酸の毒性を解除する遺伝子としてplg7を見いだし、plg7を高発現させることによって、本来脂質を分泌しない酵母による遊離リシノール酸の分泌生産に成功した。また、バイオマス資源からの新規機能性高分子の開発については、グリセロール誘導体から新規環状ケテンアセタールモノマーを合成し、そのラジカル重合

によってポリエステル・ケトンを合成することに成功した。また、イタコン酸誘導体モノマーを合成して、その重合性を確認し、中程度の側鎖長を持つポリイタコン酸エステルが食物繊維複合材に適することを見出した。

・主に水生植物に棲息する未知微生物を広範に探索し、水生植物微生物ライブラリーの構築と拡充を図るとともに、水生植物-微生物共生系の開拓と利活用に関する研究を実施した。成果として、ウキクサ、ヨシ、ミソハギ等の多様な水生植物の根圏試料や葉圏試料から、系統的に多様で新規な微生物の分離培養化に成功し、水生植物微生物ライブラリーを構築した。本ライブラリーは、7 門、16 綱、80 属、90 種に及ぶ多様な新規細菌を含んでおり、その多くが属レベルで新規な微生物であった。さらに、水生植物の根圏から「門」という微生物の最高分類階級のレベルで新規な細菌の分離に成功し、新門学名 *Armatimonadetes* 門を世界に先駆けて提案し、国際命名委員会で認定された。さらに、この水生植物微生物ライブラリーから、水生植物の成長を促進する微生物 (PGPB) の探索を実施し、これまでに上記の新門微生物を含む 10 種以上の新規 PGPB を見出しており、これらの知見をもとに、有用植物として認知されつつあるウキクサの大規模高効率栽培や、環境浄化プロセスへの応用、さらには植物工場における有用植物の高効率栽培に関する研究開発に着手した。

・1)メタゲノムから高機能遺伝子の推定を行う配列解析パイプラインを構築するための基盤技術開発を行いメタゲノムデータ中から、データベースにまだ存在しない新規な酵素の候補を他の遺伝子情報を考慮して抽出するシステムを開発した。

2)比較ゲノム用配列アライメントプログラムである LASTZ を解析パイプラインに組み込んだシステムを開発し、微細藻類のゲノム解析に応用した。

3)RNA-seq データの GSEA 解析により、海洋微細藻類において特異的に発現が上昇している遺伝子群を同定し、グルコースからトリグリセリドにいたる生合成のパスウェイを推定した。また、全ゲノム解析と発現解析を組み合わせ、海洋微細藻類の代謝経路全体において活性化している部分の推定を行った。

4)トリグリセリド生産時の発現データの時系列解析により、脂肪酸高生産株では通常とは異なるパスウェイを通してトリグリセリド生合成を行っていることを明らかにした。さらに近縁種とのゲノム比較により、脂肪酸高生産株特異的な性質のキーファクター候補となる遺伝子群を推定した。

・麴菌二次代謝関連遺伝子の網羅的予測と発現情報解析から、予測二次代謝遺伝子の機能解析のための基盤技術開発を行い、遺伝子クラスターと遺伝子制御ネットワークの推定を行った。次に、麴菌における二次代謝関連遺伝子の予測手法を、大量の遺伝子に対応させるように改善し、二次代謝関連遺伝子検出精度を向上させるための基盤データベースを構築した。また、放線菌ゲノム中の二次代謝関連遺伝子を予測するためのアセンブリパイプラインシステムを構築した。さらに、ゲノム配列における機能ドメイン出現パターンから麴菌二次代謝遺伝子クラスターを予測する技術を開発し、醤油麴 *A. sojae* の次世代シーケンサーによる全ゲノムシーケンスと RNA-seq の結果を用いて解析を実施し、醤油麴 *A. sojae* のゲノム構造を従来よりも高い精度で解明できた。このようにして開発した微生物ゲノムの遺伝子予測技術は、情報ツールとしてまとめて公開した。また、醤油麴 *A. sojae* のゲノム解析結果をまとめたデータベースを公開した。

・南極由来のサンプルから難分解性の乳脂肪を含むパーラー排水処理に適合した低温性脂質分解菌 *Mrakia blollopis* SK-4 株の分離に成功し、各種室内での模擬実験において、高い排水処理能力を実証することが出来た。農林産業上重要な害虫カメムシ類を中心にその腸内微生物叢の群集構造を明らかにし、 $\beta$ -Proteobacteria を中心とする多様な細菌が共生することを明らかにした。これら腸内細菌が害虫カメムシの成長・繁殖において重要な働きをすることを明らかにするとともに、特筆すべき成果として、それら腸内細菌が農薬分解能を有し、宿主カメムシに農薬抵抗性を賦与することを明らかにした。害虫の農薬抵抗性は従来「昆虫自身の性質」と考えられてきたが、本成果はその常識を覆す大きな発見であり、プレスリリースにより国内外から大きな注目を集めた。さらに、農薬抵抗性に関わる腸内細菌の遺伝子を多数同定することに成功し、どのようなメカニズムで抵抗性の賦与が行われるのか総合的な理解に成功した。

・1)ダイズの害虫であるホソヘリカメムシと *Burkholderia* 共生細菌の腸内共生系について、宿主カメムシの農薬耐性に寄与する *Burkholderia* 共生細菌 7 株のゲノム配列を解読し、農薬耐性に関連する遺伝子としてメチルパラチオン加水分解遺伝子 (mph) やパラニトロフェノールモノオキシゲナーゼ遺伝子 (pnp)、メチルヒドロキノンオキシゲナーゼ遺伝子 (mhq) など多数同定することに成功した。また、腸内共生器官の遺伝子発現解析を推進し、抗菌活性を示す新規分泌タンパク質を多数同定するとともに、その発現動態を解明した。さらに、GFP 標識した共生細菌を作成することに成功し、宿主昆虫体内における感染動態の可視化を可能にした。2)ゾウムシ類の細胞内共生細菌 *Nardonella* について、イモゾウムシおよびクロカタゾウムシの *Nardonella* の 0.2 Mb という極小ゲノムを決定した。また、ゲノム情報から *Nardonella* の機能が宿主ゾウム

シへのチロシン供給であることを示唆した。さらに、共生細菌除去によるクチクラの軟化、単離共生器官培養などにより *Nardonella* のチロシン供給能を実証した。

### 5-(3)-② 生体高分子や生体システムの高機能化によるバイオプロセスの高度化 (I-3-(1)-③へ再掲)

#### [中期計画]

・バイオプロセスに有用な生体高分子の高機能化を行うとともに、生物情報解析技術や培養、代謝工学を利用して、機能性タンパク質、化学原料物質としての低分子化合物等を、従来よりも高品質で効率よく生産するプロセス技術を開発する。

#### [中期実績]

・出芽酵母において、メタボロミクスのデータを活用してバイオプロセスの改変を行ない、セレノメチオニン耐性酵母株を作出した。同株の分析により、含硫化合物やいくつかのアミノ酸が増加した株を構築することができた。これらのシステムをさらに生産性の良いメタノール資化性酵母に移植を行ない、アミノ酸の生産を安価に行なう生産技術の開発や X 線結晶構造解析に適したタンパク質の生産系へ応用することに成功した。またメタノール資化性酵母がメタノールを代謝する際の遺伝子発現をトランスクリプトーム解析により検討することで、転写因子の推定やタンパク質の発現向上に関与すると考えられる遺伝子候補の抽出を行なった。その遺伝子解析により、メタノール資化性酵母のメタノール代謝時の代謝経路が変化するメカニズムを推定した。これらの結果を利用し、糖鎖関連分子の一つである糖転移酵素や医療用生物製剤の原料となる抗体分子などを安定的に発現する酵母株を作出した。

・脂肪酸や二次代謝物質などのエネルギーや医薬・化成品として重要な物質について、糸状菌とゲノム科学を利用した代謝パスウェイ改変などによる高生産技術を開発した。特に脂肪酸については、複数の遺伝子の組合せ改変によって、約 180 倍の生産性の向上を実現するとともに、分泌生産を可能とする技術を開発した。

・高温下でバイオマスを糖化することを目的に耐熱性キチナーゼの持つ基質吸着ドメインと耐熱性セルラーゼを融合した人工酵素を作成した。人工酵素創製の方法論確立のため吸着ドメインと触媒ドメインの相対位置関係の効果を調べ、カルボキシ末端ではリンカー長とその柔軟度が活性に影響を与える事(増強効果で 1.6~2.5)、アミノ末端側では長めのリンカー長(50 アミノ酸)で効果のあることが判った。さらに吸着ドメインの多重化の効果を検証し多重化は効果があるが多重化するときのリンカー長は短め(10 アミノ酸)で良い事を明らかにした。またキチン代謝系に関与する 2 種類のキトビオースデアセチラーゼ(DAC)の結晶化に成功し、精密構造を明らかにしただけでなく、構造情報を利用して阻害剤の開発を行い、実験的に阻害効果が見られることを確認した。これ以外にも産業上有用な D-アミノ酸デアシラーゼの発現系構築、精製法の確立を行った。

・水熱反応の再現性に関して、水熱反応部の前に予熱器を設置し、この予熱器を加熱する間接加熱法を採用することにより、反応器で起こる熱分解反応が抑制され再現性のあるデータを得ることができた。また、予熱器出口温度から反応器内部温度を正確に測定する方法を見出した。上記の改良後、水熱反応温度と残渣収率との関係について検討した結果、残渣収率は水熱反応温度の増加に伴い減少し、観測されるガス・ロス分は水熱反応の昇温速度を低下させることでほとんどゼロにすることに成功した。オリゴ糖成分の選択的抽出では、得られたオリゴ糖の糖化反応および水熱反応残渣の構造解析の結果、水熱反応ではオリゴ糖の選択的抽出は困難であることがわかった。したがって、当該手法で高単糖収率を達成するためには、水熱反応過程でできるだけ抽出率を上げる必要があることが明らかになった。

・産業や医学分野での活用が見込まれる機能性タンパク質の特定とその生産に必要な生物プロセス技術の開発が目標であったが、寒冷地魚類が有する複数の不凍タンパク質の単離精製と組成の解明に成功した。特に、北海道の芝生や牧草地帯に広く生息するキノコ類が分泌する 7 種類の不凍タンパク質のアミノ酸組成を解析し、それらが非常に優れた氷結晶成長抑制能力をもつことを明らかにした。また、多次元 NMR 法と X 線回折法を用いることによって、キノコ由来不凍タンパク質の 3 次元分子構造と氷結晶結合部位を世界で初めて解明することに成功した。更に、同タンパク質の氷結晶結合機能を活用した超高気孔率セラミックス多孔体製造技術の開発に成功し、強力な細胞膜保護機能を発揮する不凍タンパク質も特定した。この細胞保護機能を活用することで、糖尿病の治療に役立つインスリン生産細胞を 4°C 下で 120 時間以上も生かし続ける新技術も開発した。このようにして、不凍タンパク質を活用した産業技術の基盤を構築することが出来た。

・2 本鎖 DNA を安定化させる低分子化合物を開発し、高温において 2 本鎖構造をより安定に保持する DNA

分子を構築した。また、安定化 DNA の電極基板上での配向性、構造柔軟性、導電特性などの物理化学的な性質を明らかにした。さらにそれらの技術や知見に基づき、DNA、タンパク質、電極を融合させる研究を進め、DNA・酵素複合体から成る新規なセンサー開発に発展させた。この開発の過程で、DNA の化学修飾に関わる低分子化合物と、高分子樹脂材料を利用した微小電極をそれぞれ開発し、それらが従来技術よりも高い性能を有することをそれぞれ実証した。これらの結果を受け、核酸と電極に関わる知財をそれぞれ国内企業にライセンスした。

・大腸菌並びに放線菌を「物質生産の場」の場として活用すべく各種研究を展開した。大腸菌においては、基本的な代謝経路に関与する酵素群のアンチセンス RNA 発現ベクターを 70 以上構築し、それぞれの遺伝子発現の抑制と、それに呼応した細胞内代謝系の改変を容易に構築する技術を確立した。一方、放線菌を用いた系では、大腸菌では発現困難な抗菌物質生合成遺伝子クラスターや診断用酵素などの発現を複数成功させた。また、医薬品としても利用されるビタミン D 水酸化体の生産技術確立のため、ビタミン D 水酸化酵素の高機能化(野生型に対して 70 倍高活性な酵素の開発)や放線菌の機能改編(基質透過性の改善)などを含めたシステムの構築を行うことで、世界最速の水酸化体生産系の構築に成功した。

・ウイルス由来の配列(FMDV 2A region)を用いることでポリシストロニックな発現ができることに着目し、出芽酵母において複数のタンパク質を同時に発現できるシステムの確立を目標として研究開発を進めた。同システムを用いて構築した紅藻スサビノリ由来の 3 つの脂肪酸不飽和化酵素遺伝子を載せた発現プラスミドを出芽酵母に導入し、遺伝子組換え出芽酵母の脂肪酸組成を分析したところ、3 つの脂肪酸不飽和化酵素遺伝子がポリシストロニックに発現し機能していることが予想される結果を得た。現在、3 つの脂肪酸不飽和化酵素遺伝子を連結した発現プラスミドに、4 つ目の脂肪酸不飽和化酵素遺伝子を連結した発現プラスミドの作成に取り掛かっている。以上の結果から、出芽酵母において複数のタンパク質を同時に発現できるシステムの基盤技術が確立できた。

・機能性新規化合物の調製では、マイクロ波を利用した合成法の研究、とくに加熱でない効果の解明や合成酵素への利用展開を進め、成果を得た。そして、多数の活性ペプチドや糖ペプチド、糖鎖などを調製し、他ユニットや他機関との共同研究としてその生理活性探索、創薬展開、デバイス化などの研究を展開させた。また独自に、装置および試薬メーカーとの共同研究も行った。化合物利用研究では、ナノ粒子上に固定化することで化合物の有する生理活性の向上と新しい生理活性の発現に成功した。また、企業との共同研究として抗体作製への利用展開研究を進めた。

### 5-(3)-③ 遺伝子組換え植物作出技術と生産システムの開発

[中期計画]

・植物生産システム等のグリーンバイオ産業基盤を構築し、実用化に目処をつける。そのために、遺伝子組換え技術により植物の持つ物質生産機能を高めるとともに、転写制御因子の改変体モデル植物を全因子の 90%程度(従来は25%程度)について作成して解析すること等により、新たな機能を付与する技術を開発する。

[中期実績]

・全転写因子の 90%について活性化因子を抑制因子に変換したモデル植物を作成し、研究リソースを整備した。研究材料として世界中の研究者に対して約 2,000 件を分譲し、研究の進展に貢献し、数多く論文として発表されている。これらを用いた独自の研究においては、葉の形態制御、生長制御、クチクラ形成、傷害応答など、環境ストレス耐性や成長制御などに関する新たな機能を付与する様々な因子の同定および機能解明に成功した。また、木質を形成しない変異体に新たな二次細胞壁を形成させるというこれまでにない新規な技術を開発した。これによって、木質の増強や特定の木質成分の合成制御を可能とする技術を開発した。さらに、約 300 個の転写抑制因子に活性化ドメインを付加して導入したモデル植物を作成し、研究リソースとして整備すると共にスーパー植物開発への応用が期待される数多くの有用転写因子の同定に成功した。また、天然ゴム増産技術の開発に向けて、乳管形成や二次成長に関連する遺伝子候補を複数取得するとともにパラゴムノキの形質転換体作製に成功した。以上のように中期計画の目標を大幅に超えて研究が進捗した。

・密閉型遺伝子組換え植物工場を利用して遺伝子組換え植物体を原薬とするイヌ歯肉炎軽減剤「インターベリ $\alpha$ 」の動物薬としての承認を得るに至った。これは、遺伝子組換え植物体を原薬とする医薬品として世界初の認可であり、産総研が提唱した植物工場を活用することで遺伝子組換え植物による医薬品製造の産業化への道を拓くと言う戦略を実証した成果である。また、本研究技術開発は、地方行政、地域経済界等から



早期に注目され、産総研の技術を産業界に橋渡しする目的で二つ目の産総研型植物工場の開発研究が地域の出資により始動、平成24年度に産総研敷地内に完成し、現在入居企業との共同研究による実用化研究開発へのさらなる展開が行われるに至った。

#### 5-(4) 省エネルギー性に優れたマイクロ電子機械システム製造技術（Ⅲ-2-(3)へ再掲）

##### [中期目標]

センサ、光通信、医療・バイオ、自動車など多様な分野に適用が期待される小型、高精度で省エネルギー性に優れたマイクロ電子機械システムの低コストな大面積製造技術の開発を行う。

##### [中期計画]

産業分野の省エネルギー化や環境負荷低減に貢献するマイクロ電子機械システム(MEMS)製造技術の開発を行う。具体的には、高機能な MEMS を安価に生産するための大面積製造技術の開発を行う。また、バイオ、化学、エネルギーといった異分野の MEMS デバイスを融合及び集積化する製造技術の開発を行う。さらに、安全・安心や省エネルギー社会実現に貢献する MEMS デバイスを利用したユビキタスシステムの開発を行う。

#### 5-(4)-① 高集積、大面積製造技術の開発

##### [中期計画]

・高機能で安価かつ大面積での MEMS 製造技術を開発する。具体的には、100nm より微細な3次元構造体をメートル級の大きさにわたり、低コストかつ低環境負荷でレジストや金属メッキ構造体、多結晶シリコン材料等を用いて MEMS を量産するための基盤技術を開発する。

##### [中期実績]

・MEMS 研究開発拠点整備として、大面積対応マスクレス露光装置、Si 深掘ドライエッチング装置、大面積ナノインプリント装置等からなる 8-12 インチ対応 MEMS 製造ラインを整備し、ファンドリーとしての活用を図った。射出形成を用いた低コストのポリマーMEMS 成型手法を開発し、MEMS ミラーデバイスを試作し可変照明動作を実証した。多数チップの一括接合のために、キャリアウエハ上に置かれる微小デバイスチップを表面張力により自己整合する高速位置決め技術を開発した。表面活性化常温接合において、Ne 高速原子ビームを使用することで表面清浄化に加え表面平坦化の効果もあることを見出した。光硬化型ブロック共重合ポリイミドにより低温インプリントを実現し、3 $\mu$ m 幅の銅の微細埋込配線構造形成および 100nm 幅のサブ波長構造の形成に成功した。糸と糸の交差部の容量変化を検知する方式を採用し、メートル級の大面積ファブリック MEMS センサを開発し、測定対象物の材質に依存せず安定なセンシングが行えることを確認した。宇宙用 X 線望遠鏡作製のための大面積 MEMS 加工プロセスとメッキ応力によるウエハ湾曲制御技術を開発した。犠牲層膜リフトオフ法による超平滑表面により常温での MEMS 気密封止接合を実現した。この様に、中期計画で掲げた高機能で安価かつ大面積の MEMS 製造を可能にするために重要な基盤技術の開発目標を達成した。

#### 5-(4)-② ユビキタス電子機械システム技術の開発

##### [中期計画]

・安全・安心や省エネルギー社会に資するユビキタスマイクロシステムの実現のために、バイオ、化学、エネルギー等異分野のデバイスを融合、集積化した MEMS デバイスを製造するための技術及び低消費電力かつ低コストな MEMS コンポーネント製造技術を開発する。具体的には、数ミリメートル角以内の通信機能付きセンサチップを試作し、オフィス、クリーンルーム等の製造現場の消費エネルギーを10%削減するためのシステム技術を開発する。

##### [中期実績]

・アモルファスシリコン蛍光検出センサにより高感度に生体分子を検出が可能な、異分野のデバイスを融合・集積化した集積型蛍光検出 MEMS デバイスと、安全で高効率な水素・酸素直接反応を実現する並列／多チャンネルマイクロリアクタを製造する技術を世界に先駆けて開発した。また、ファイバ型 MEMS コンポーネント製造技術に関して、異種材料電極によるセンサ作製技術および従来比約 10 倍の高スループット低コスト露光

プロセスを開発した。さらに、低消費電力多値化技術などにより、微弱電波通信距離を3倍にし得る通信LSIと、MEMS技術を用いたフレキシブル電力センサ、及び3.9mm角の世界最小レベルの通信機能付き温湿度センサチップを実現した。そして、約17,000の無線電流センサ端末をコンビニエンスストア2,000店舗に設置して、世界でも最大規模のフィールド実験環境を構築するとともに、環境データを多点で観測することで、消費電力のムダを”機能/電力”の観点より判断し、必要な省エネ対策を明らかにできるシステムを試作し、社会実験により10%以上の省エネに有効であることを実証した。

## 5-(5) 環境負荷低減技術、修復技術

### [中期目標]

産業活動に伴って発生した環境負荷物質について、選択的吸着技術、触媒技術等を活用した浄化技術及び自然浄化機能を利用した環境修復技術の開発を行う。

### [中期計画]

各種産業プロセスから発生した環境負荷物質の高効率処理及び浄化と環境修復に貢献する技術の開発を行う。具体的には、水や大気等に含まれる微量重金属や残留性有機汚染物質(POPs)等、低濃度の環境負荷物質を高効率に処理可能な選択的吸着技術、触媒技術の開発を行う。また、太陽光、植物や微生物等の自然界の能力を利用、強化し、低濃度広域汚染サイトや複合汚染サイトにも適用できる高効率、低コストな浄化、修復技術の開発を行う。

### 5-(5)-① 環境負荷低減を目指した浄化技術の開発

#### [中期計画]

・水や大気に含まれる低濃度の環境負荷物質を、従来比で最大4倍の総合処理効率(処理能力/エネルギー消費)で処理可能な浄化技術を開発する。具体的には、ナノ空間材料や特殊反応場を利用した選択的吸着技術、触媒技術等を活用して、反応選択性や効率の向上を図る。また、残留性有機汚染物質(POPs)等難分解性物質を焼却によらずに完全に無機化できる反応技術、さらには有価物への変換技術を開発する。

#### [中期実績]

・ナノ材料を用いたVOC分解用オゾン援用触媒の開発では、全く貴金属を使用しないCe/Zrナノ構造体触媒を得た。Pt、Ag触媒などの既存触媒に比べ100°Cの低温で、約4倍の分解効率を達成した。プラズマ触媒法の高効率化では、レーザー分光計測による触媒近傍の放電プラズマ中に生成した活性種の解析を行い、反応促進に有効な電源方式を明らかにした。これにより従来型パルスプラズマと比較し約10倍のエネルギー効率でVOC処理が可能となった。高機能吸着剤の開発では、交互積層法により吸着促進型光触媒能を有するグラフェン・チタニア複合体の膜化に成功し、残留性有機汚染物質に対する処理効果を従来品より10倍以上向上させた。また、水熱法を用いて糖から多孔質炭素材料を製造する際に、比表面積、気孔率、表面修飾を制御する手法を開発した。

・水処理におけるマイクロバブルの作用メカニズムとして気泡消滅時のフリーラジカル形成を明らかにしたと共に、各種排水の処理や半導体などの洗浄実験を進めた。特に、ナノ粒子触媒を利用した地下水中の硝酸対策技術の開発に取り組み、担体であるAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の上にPdナノ粒子を保持し、その上にCuナノ粒子を析出させ、Cu/Pd比を調節することにより硝酸分解に最適な触媒を設計した。高効率化に関しては、H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>混合ガスをマイクロバブル化して吹き込むことにより、通常気泡を用いた場合と比較して硝酸処理速度を約20倍高めることに成功した。一方、水中の低濃度環境汚染物質であるほう素に対して、量子化学計算を用いてほう素吸着用の分子のスクリーニングを行い、その結果に基づき、新規のほう素吸着剤を開発した。基材としてはスチレン=ジビニルベンゼン共重合体を用い、クロロメチル化後、吸着用分子を結合した。新規に合成した回収剤は競合技術である既存のN-メチル-D-グルカミン回収剤と比較して、ほう素の回収速度を約2倍に高めることに成功した。

・光触媒結晶表面上の過酸化水素および吸着水分子の挙動を追跡し、それらの役割を調べるとともに、光触媒活性と反応機構の関係を解明した。光触媒反応による結晶酸素格子状Ti-OH、Ti-O、O·H<sub>2</sub>O構造の変化と、過酸化水素の生成が確認された。また、過酸化水素と分子状酸素が還元されて表面吸着水を増大させる機構を見出した。この一連の反応は金属担持により加速され、光触媒活性との相関が認められた。これらを通して、複雑な光触媒活性に関係した反応機構の一部を解明できた。新規光触媒材料の開発では、グラフ

アイト状窒化炭素の比表面積を増大させるアルカリ水熱処理法と銀イオンを添加する高速混合法を開発するとともに、窒化炭素ポリマー末端のシアノ基の光触媒反応過程への関与を明らかにした。従来の非金属酸化物と比較し、可視光 LED の照射下で 8 倍の一酸化窒素除去能力と 4 倍の悪臭処理能力を有する窒化炭素を開発した。

・難分解性の有機フッ化合物の有価物への変換技術に関しては、ペルフルオロエーテルカルボン酸、ペルフルオロエーテルスルホン酸、 $\omega$ -H フルオロカルボン酸、フルオロスルホン酸ポリマーについて、フッ化物イオンまで無機化し、フッ化物イオンを回収できる処理法(亜臨界水法、ペルオキシ二硫酸添加法、Fe 添加法、ヘテロポリ酸光触媒法)を物質毎に見出した。特に、ペルフルオロエーテル酸類の亜臨界水と酸素による処理法については、添加物(触媒等)が必要ない点で有望な技術であることを示した。また、代替フロンについて、HCFC-22 をギ酸に、HCFC-225ca をフッ素化オレフィンに、ほぼ定量的に変換する処理法(温水加水分解法)を開発した。

## 5-(5)-② 自然浄化能の強化による環境修復技術の開発

### [中期計画]

・太陽光や植物、微生物等の自然界が有する環境浄化能力を促進、拡大強化することにより、環境負荷が少なく、オンサイトでも利用可能な土壌、水、空気的环境修復技術を開発する。例えば、これまで困難であった低濃度広域汚染サイトや複合汚染サイトの低環境負荷型浄化、修復を可能とするために、既存法に比べて除去コストを1/4に縮減する浄化技術を開発する。

### [中期実績]

・土壌中 VOC の処理システムの開発では、太陽光と同強度の光源により70%以上のトリクレン除去効率を出すことのできる材料を見出した。本成果を元に実証サイズのリアクターを構築して長期屋外試験を実施したところ、数ヶ月を経ても性能低下を示すデータは観測されなかった。この原位置処理が可能な本技術の利用により、コスト比で現状の土壌搬出法の約 1/4 の目途を付けた。一方、途上国過疎地用飲料水の光浄化装置の開発では、特に有機リン系農薬の処理に光触媒酸化が適していることを見出した。実験室レベルによるモデル細菌の連続フローによる光触媒処理で滅菌が行われることを確認し、本成果を元に可搬サイズのリアクターを設計してタイ・チェンライ県の山岳民族集落において試験したところ、実用流速を維持したまま太陽光のみで飲料水中の大腸菌並びに一般細菌レベルが 1/10 以下になることを見出した。

・環境微生物群による土壌汚染対策技術については、原位置の微生物活性を利用した重金属の低レベル毒性化、固定化の検討を行った。基盤的な情報を得るため次世代シーケンサー解析を環境微生物に応用して、重金属類汚染サイトで浄化機能を担う微生物群の同定に成功した。これらの知見を基に、セレン汚染土壌に関しては微生物還元処理(固定化・低レベル毒性化)が酢酸等の電子供与体基質の添加により達成されることを示し、掘削除去法に比べて浄化コストを約 1/5 に削減するための道筋を示した。また、植物を用いた土壌汚染対策技術については、鉛やカドミウムの吸収能力の高い新品種植物の交配による育種に成功した。これに加え、従来困難であった汚染土壌においても発芽を可能とする手法を見出し、播種の効率化を実現した。これらにより、植物による浄化コストを掘削除去法の 1/5 とすることを可能とした。

・VOC 環境汚染現場における微生物を利用した浄化技術の安全性評価手法の開発のため、次世代型 DNA シーケンサーを利用した汚染土壌、地下水中微生物群の網羅的モニタリング技術を開発した。また、生態系環境影響評価に利用可能な、汚染土壌、地下水中の全細菌、古細菌群の定量的解析技術の開発を行った。さらに、特定の微生物群の遺伝子マーカーを汚染環境中(土壌・地下水)で定量的に検出できる計測技術に必要な核酸標準物質を複数種類開発した。バイオオーグメンテーション現場における環境生態系影響評価のための標準的プロトコルを作成した。作成した標準プロトコルに基づき、バイオオーグメンテーション現場における環境生態系影響評価に関する機関比較試験を主導的に実施し、標準的プロトコルの精度向上を図った。バイオオーグメンテーションの実証現場における微生物叢の変遷を標準プロトコルに基づき解析し、安全性評価技術を実証した。

・海洋等でのタンカー等からの石油流出事故を想定した模擬石油汚染実験・評価系の整備を進めた。一方、流出石油を微生物によって分解し易くするための分散剤や現場もしくは投入した微生物をより増殖させるための栄養剤、流出石油を分解する多様な炭化水素分解能を有する特定微生物を用いた積極的な浄化手法の有効性評価を行った。これまでに見出した上記特定微生物の候補については、細菌学的な性状解析等を行い、その分類学的な位置づけを明確にし、それらが環境中に分散した際の安全性について明確にするとともに

にそれらの生理学的な性質や既知種との系統関係を明らかにした。また、それら微生物候補の現場における貢献度を分子・細胞レベルで計測し、投入した微生物の石油分解に対する貢献度を評価した。

## 6. 持続発展可能な社会に向けたエネルギー評価技術、安全性評価及び管理技術並びに環境計測及び評価技術の開発

### [中期目標]

二酸化炭素削減のための技術と取組の評価手法を開発するとともに、その開発及び技術の導入シナリオ並びに二酸化炭素削減ポテンシャルを明らかにし、技術開発、施策等の分析と評価を行う。また、産業活動における安全性を向上させるため、先端科学技術、生産活動、化学物質の安全性と環境の評価技術の開発を行う。

### [中期計画]

グリーン・イノベーションにより持続可能な社会を構築するためには、エネルギー技術をはじめ、科学と産業にかかわる安全性、環境影響等を正しく評価することが必要である。そのため、エネルギー関連技術にかかわるシナリオ等の評価を行うとともに、二酸化炭素削減のための技術及び取組の評価手法の開発を行い、二酸化炭素削減ポテンシャルを定量化する。また、産業活動における安全性を向上させるために、ナノ材料に代表される新材料のリスク評価及び管理技術の開発、産業事故防止のための安全性評価及び管理技術、化学物質の最適管理手法の開発を行う。さらに、環境負荷物質のスクリーニング、計測技術の開発と物質循環過程解明を通じた総合的な環境影響評価技術の開発を行う。

### 6-(1) 革新的なエネルギーシステムの分析、評価

#### [中期目標]

二酸化炭素の回収貯留、水素を媒体としたエネルギーシステム等、革新的なエネルギーシステムの関連技術について、開発や導入シナリオの分析と評価を行う。

#### [中期計画]

持続可能な社会の構築に必要な革新的エネルギー関連技術にかかわるシナリオの分析、評価を行う。具体的には、環境と資源の制約を考慮し、二酸化炭素の回収貯留や水素を媒体としたエネルギーシステム等の開発及び導入に関するシナリオの分析、評価を行う。さらに、国際的な連携を念頭においた国内外技術開発ロードマップや新規技術の適用性評価及び技術導入シナリオの策定を行う。

#### 6-(1)-① 革新的なエネルギーシステムの分析、評価

##### [中期計画]

・持続可能な社会の構築に必要な革新的エネルギー関連技術にかかわるシナリオの分析、評価を行う。具体的には、環境と資源の制約を考慮し、二酸化炭素の回収貯留や水素を媒体としたエネルギーシステム等の開発及び導入に関するシナリオの分析、評価を行う。さらに、国際的な連携を念頭においた国内外技術開発ロードマップや新規技術の適用性評価及び技術導入シナリオの策定を行う。

##### [中期実績]

・二酸化炭素回収貯留については、トータルシステムのフィージビリティスタディを行い、長期的導入シナリオの検討と国際標準策定への対応、我が国における導入・普及戦略に関する政策提言等への活動を実施した。また、原子力発電に関する3つのシナリオとCO<sub>2</sub>排出制約下で、次世代自動車等の革新的技術の導入ポテンシャルをモデル分析した。その手法を発展させて、水素、アンモニア等の長期エネルギー需給への影響評価を行い、発電、自動車、産業、民生での有効性を横断的に評価して、トータルシステムの中長期的導入シナリオ構築に向けた提言を行った。さらに、地球温暖化による経済的影響評価手法に鉱物資源の需供給構造モデルを組込んだ解析手法を構築して、気温上昇 2°C以内という目標を模擬したグローバルシナリオを検証するとともに、温暖化影響を考慮した持続的発展指標の推計を実施した。国際機関との関連では、国際標準化機構(ISO)エネルギーマネジメントシステム、省エネルギーおよびCCSに関する国際規格の策定、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第5次評価報告書のレビュー、国際CCS研究所(GCCSI)等の活動に参画し、連携を強化した。

## 6-(2) 持続発展可能な社会と産業システムの分析

### [中期目標]

様々な二酸化炭素削減のための技術と試みについて、原単位や消費者の行動等を解析して二酸化炭素削減率の定量化を行い、それら方策の削減ポテンシャルを明らかにし、技術開発、技術のシステム化、市場システムの分析と評価を行う。

### [中期計画]

二酸化炭素の削減や環境負荷低減のための様々な方策を評価する手法の開発を行う。具体的には、実態調査等に基づく、温室効果ガス排出原単位のデータ作成や消費者の行動等を解析し、削減率の定量化を行う。また、最適な社会と産業システムの設計を目指して、これら方策の削減ポテンシャルを明らかにし、持続可能な社会の構築に資する技術開発、技術のシステム化、市場システムの分析と評価を行う。

## 6-(2)-① サステナブルシステム及び技術評価

### [中期計画]

・最適な社会と産業システムの設計を目指し、持続可能な社会に向けた各種の取組に対し、資源性、経済性、社会受容性等の観点から技術評価を行い、これらの環境負荷削減量を定量化する。

### [中期実績]

・持続可能な社会に向けた各種の取組の中で、事業者に導入が義務づけられたバイオ燃料、代替燃料自動車かつ蓄電デバイスとして活用が期待される電気自動車、将来の水素社会実現に向けて重要な役割を果たす水素エネルギーキャリアを対象として、資源性、経済性、社会受容性を含めたライフサイクルアセスメントの視点に基づいた技術評価と、それに必要となる手法開発を行い、環境負荷削減量の定量化と導入可能性を検討した。特にバイオマス利活用の持続可能性評価については、この技術評価の枠組みを適用して東アジア地域のバイオマス資源に対するニーズおよび社会経済状況に即した環境・経済・社会側面での評価指標を特定した。この成果は、政策提言として東アジアサミットエネルギー協カタスクフォースで採択されたことに引き続き、G8 サミットで設置された国際的な枠組みである国際バイオエネルギー・パートナーシップが採択した持続可能性指標の根拠の一つとして引用された。

## 6-(2)-② 持続性指標の活用による低炭素社会システムの評価

### [中期計画]

・CO<sub>2</sub> 見える化等の指標を、消費者や企業の低炭素行動に結びつけるための手法を開発する。具体的には、カーボンフットプリント等の施策に関して、原単位データを作成するとともに、消費者の受容性や低炭素行動等を解析し、その二酸化炭素削減ポテンシャルを定量化する。

### [中期実績]

・農作物から工業製品までを網羅したライフサイクルインベントリデータベース IDEA(約 3,800 データセット)を構築した。IDEA を基にして、政策として推進されているカーボンフットプリント事業に活用するため、温室効果ガス排出量原単位を算出し共通原単位データベースとして公開することにより、その政策を実現した。また、そのデータは内外の産業界などによる LCA、SCOPE3、環境フットプリントの実施を可能にし、データベースの英語化を実施することで世界レベルの規模を達成した。開発した IDEA を基に、新たに消費者の行動ベースの環境負荷データのデータベース化を実施し、受容性を考慮することで実現可能な家事行動を抽出して、それぞれの行動起因の二酸化炭素排出量削減ポテンシャルを定量化した。

## 6-(3) 先端科学技術のイノベーションを支える安全性評価手法

### [中期目標]

先端科学技術の実用化と製品化のために必要となる安全性評価手法を開発する。特に、カーボンナノチューブ等の工業ナノ材料について、有害性評価、ばく露評価及びリスク評価手法を開発する。

### [中期計画]

今後新規に開発される先端科学技術に応用可能な安全管理体系の構築を目指して、ナノ材料のリスク評価及び管理手法の開発を行う。具体的には、新規技術の研究開発から製品化に至るプロセスに安全性評価を統合するための方策の開発を行う。適用事例として、カーボンナノチューブ等の工業ナノ材料について、有害性評価手法やばく露の計測及び予測評価手法の開発を行う。また、物理化学的特性やリスク評価結果を総合し、研究段階に応じたリスク管理指針を確立する。

### 6-(3)-① 先端科学技術のイノベーションを支える安全性評価手法

#### [中期計画]

・今後新規に開発される先端科学技術に応用可能な安全管理体系の構築を目指して、ナノ材料のリスク評価及び管理手法の開発を行う。具体的には、新規技術の研究開発から製品化に至るプロセスに安全性評価を統合するための方策の開発を行う。適用事例として、カーボンナノチューブ等の工業ナノ材料について、有害性評価手法やばく露の計測及び予測評価手法の開発を行う。また、物理化学的特性やリスク評価結果を総合し、研究段階に応じたリスク管理指針を確立する。

#### [中期実績]

・ナノ材料のリスク評価及び管理手法の開発を目指して、以下の研究開発を実施した。1)試料調製、キャラクターゼーション、有害性評価、ばく露評価からなるナノ材料のリスク評価手法を開発し、カーボンナノチューブ、フラーレン、二酸化チタンナノ材料に適用した。試験の実施や文献情報の解析を通じて、世界に先駆けたナノ材料リスク評価書を作成して公開した。また、2)ナノ材料の研究開発や市場化の段階に応じたリスク管理指針を構成するものとして、カーボンナノチューブを対象とした「安全性試験の手順書」「作業環境計測の手引き」「ケーススタディ報告書」を作成して公開し、事業者の自主的な管理を支援した(技術研究組合単層CNT融合新材料研究開発機構の事業)。さらに、3)物理化学的特性とリスク評価を統合して効率的な評価及び管理を可能にする「同等性判断基準」の考え方を提案して、二酸化チタン、酸化ニッケル、二酸化ケイ素のナノ材料に関する素案を作成した。また、OECDにおいて、ナノ材料の「同等性」に関連する調査プロジェクトを提案・主導した。

・カーボンナノチューブの体内残留挙動を明らかにするため、ラット臓器中のカーボンナノチューブの分析法を確立し、カーボンナノチューブの気管内投与によってばく露したラットの肺残留量の経時変化を測定し、その残留挙動を明らかにした。

・長尺の単層カーボンナノチューブの有害性評価試験のために、DNAを用いた安全で長期分散安定性を有する分散技術を開発した。また、カーボンナノチューブのリスク評価のため、ビーズカラムを用いた長さ分離の手法も開発した。カーボンナノチューブに関しては、より正確な評価のために、使用したカーボンナノチューブ試料の直径分布や長さ分布、濃度等について詳細なキャラクターゼーションを行った。酸化チタンや酸化ニッケルナノ粒子等の各種工業用ナノ材料の細胞毒性試験や気管内投与試験のための分散液調製法を開発し、これらの調製液を使った有害性評価を実施した。リスク管理の方法論の構築に向けナノ物体の物理化学的性質や毒性学的研究データ、ナノ医薬等の文献調査を行い、リスク管理のためのカテゴリー分けの指針を得て、特に繊維状ナノ材料のリスクに関する総説をまとめた。

### 6-(4) 産業保安のための安全性評価技術、安全管理技術

#### [中期目標]

事件事例情報をデータベース化するとともに、産業保安のための安全性評価、安全管理技術の開発を行う。

#### [中期計画]

産業活動における安全性を向上させるために、産業事故の原因究明に関する研究を行う。さらに、過去に起きた事故の情報収集とデータベース化を行うとともに、事故を未然に防ぐための安全文化(ヒューマンファクターや組織要因等)を醸成するための手法の開発を行う。具体的には、火薬類のフィジカルリスク低減や新型火薬庫に関する安全性評価の研究を行うとともに、爆発反応や衝撃波を衝撃圧縮に応用する研究を行う。また、実際の化学プラント等の事業所への適用を目指して、化学プラント等の産業事故データベースの作成と事故の分析を通して、事業所の持つ保安基盤技術とそれを支える安全文化からなる保安力の評価手法の開発を行う。

## 6-(4)-① 産業保安のための安全性評価技術、安全管理技術

### [中期計画]

・産業活動における安全性を向上させるために、産業事故の原因究明に関する研究を行う。さらに、過去に起きた事故の情報収集とデータベース化を行うとともに、事故を未然に防ぐための安全文化(ヒューマンファクターや組織要因等)を醸成するための手法の開発を行う。具体的には、火薬類のフィジカルリスク低減や新型火薬庫に関する安全性評価の研究を行うとともに、爆発反応や衝撃波を衝撃圧縮に応用する研究を行う。また、実際の化学プラント等の事業所への適用を目指して、化学プラント等の産業事故データベースの作成と事故の分析を通して、事業所の持つ保安基盤技術とそれを支える安全文化からなる保安力の評価手法の開発を行う。

### [中期実績]

・産業活動における安全性を向上させるために、火薬類のフィジカルリスク低減や新型火薬庫に関する安全性評価、爆発反応や衝撃圧縮の応用研究開発、事故情報のデータベース化、安全文化を醸成するための手法の開発が目標であった。地下式火薬庫の保安距離を定めた平成24年5月の省令改正のための爆発実験、数値シミュレーションデータを提供し、新型火薬庫に関する特則承認を目指して、土かぶり厚さが規定の半分程度でも安全であることを確認した。爆発反応や衝撃圧縮の応用研究に関しては、空隙とペレット状の火薬類からなる実験を提案し、衝撃波の測定を誘爆感度評価へ応用した。また、可燃性ガスや支燃性ガス、微燃性冷媒のフィジカルリスク評価に関する研究を実施し、水素社会の構築、新規のガスや関連装置の安全利用に資するデータを提供した。産業保安研究に関しては、事故情報データベースの継続的な運用を実施し、企業の安全文化と安全基盤からなる保安力を評価するシステムの開発を行い、保安力評価項目と事故原因との関連性分析や事故による損失と安全対策の経済効果の分析を実施するとともに、中小事業所向けの保安力評価システムの開発、試行を行った。

## 6-(5) 化学物質の最適管理手法の確立

### [中期目標]

化学物質のリスク評価と安全管理技術、発火と爆発危険性の評価技術の開発を行う。

### [中期計画]

ある化学物質によるリスクを下げることにより、別の化学物質によるリスクが増加する(リスクトレードオフ)事例に対応するため、化学物質の有害性、ばく露、対策の効果等を事前に予測するための技術の開発を行う。具体的には、化学物質の最適管理のための意思決定に資するため、多数のリスク因子を同時に考慮することを可能とするリスクトレードオフ評価手法を確立する。また、化学物質の発火及び爆発危険性評価技術の開発を行い、基準の作成等を行う。

## 6-(5)-① リスクトレードオフを考慮した評価及び管理手法の開発

### [中期計画]

・社会全体のリスクを適切に管理することを目的として、排出量推計、環境動態及びばく露モデリング、有害性推論、リスク比較等の要素技術を開発し、リスクトレードオフ評価及び管理手法を開発する。また、具体的な用途群へ適用する。

### [中期実績]

・4つの用途群(洗浄剤、溶剤・溶媒、プラスチック添加剤、金属)の排出シナリオ文書、ヒト健康に関する統計学的な有害性推論手法、生態に関するリスク評価ツールや金属毒性推定モデル、大気、河川、海域、室内を対象とした環境動態及びばく露モデルを開発した。これらの手法及びモデルを、4つの用途群に適用してリスクトレードオフ評価書を作成した。これらの成果は部門のウェブサイトで公開するとともに、OECDの公式文書として登録し、要素技術について国際誌で論文発表した。開発したリスクトレードオフ評価・管理手法は、既に国内の行政機関、企業で活用された。地震によるプラント事故時での急性毒性の強い物質による健康影響を考慮した避難範囲推定手法を確立するとともに、将来の地震に備えた対策シナリオ間や地域間の比較を可能にする災害リスク評価手法を確立した。以上の一連の被害とリスク推定が可能な地震リスク評価システム

の公開版を完成した。我々が開発したシステムをもとに複数の企業と勉強会を開催し、企業ニーズを把握した。

#### 6-(5)-② 爆発性化学物質の安全管理技術の開発

##### [中期計画]

・化学物質の発火及び爆発危険性の現象解明、危険性評価技術の開発、安全な取り扱い技術の基準作成等を行う。

##### [中期実績]

・種々の化学物質・反応について爆発危険性の現象解明を行った。特に近年、注目されている銀ナノマテリアルの原料物質であるシュウ酸銀が爆発危険性を持つことを実証できた。また、危険性が未解明であった三塩化窒素、テトラヒドロフラン過酸化物、ナトリウムカリウム合金過酸化物、新規有機アジド化合物等について、その危険性を明らかにした。ナトリウムカリウム合金過酸化物の研究成果はわかりやすいビデオにまとめ、YouTube 産総研チャンネルに公開した。危険性評価技術の開発、安全な取扱技術の基準作成等においては、発熱分解エネルギーの測定法について JIS K4834:2013 を制定した。また、平成 24 年 6 月、国連の専門家委員会において国連勧告試験の改正案が採択された。次の基準作成として花火組成物の爆燃危険性を計測する手法を検討し、平成 26 年 12 月に国連勧告試験の改正案として提案した。また、中国が主導する花火の ISO 化に向けて国内外の会議に参加した。得られた情報は当初、RIO-DB に公開していたがサーバーの老朽化に伴い、外部サーバーに移植作業を行った。第三期中、特に平成 25 年度に取得した熱分析の結果等を公開すべく、データの評価および pdf 化を行った。

#### 6-(6) 環境の計測技術、生体及び環境の評価技術

##### [中期目標]

産業活動に伴って発生した環境負荷物質等の計測技術、生体影響評価技術、環境影響評価技術の開発を行う。

##### [中期計画]

産業活動に伴って発生する環境負荷物質のスクリーニング技術及び計測技術の開発を行う。また、環境修復技術に必要な物質循環過程を解明し、総合的な環境影響評価技術の開発を行う。具体的には、製品及び産業プロセスにおける有害物質の計測手法や環境修復技術に必要な環境微生物の迅速検出法等の開発を行う。産業活動によって直接又は間接的に発生する温室効果ガス等が、生物多様性や生態系内貯留等の環境へ与える影響を評価する技術の開発を行う。

#### 6-(6)-① 環境負荷物質及び環境浄化能の計測手法の開発

##### [中期計画]

・化学物質や重金属の国際規制に対応するため、製品及び産業プロセスにおける有害物質の迅速検出法を開発し、標準化を行う。また、生物応答に基づく有害性のスクリーニング技術を開発する。さらに、環境修復技術に必要な、分析効率(スピード、コスト、労力)を現状比5倍以上に向上させた環境微生物の迅速検出法を開発する。

##### [中期実績]

・有害試薬を使わずに水質汚染物質を測定するため、光反応利用全有機炭素連続分析法を開発し、河川水適用など実用性を高めた手法を確立した。また、主要エネルギー源の石炭の利用およびその環境影響評価として重要な石炭中微量元素の分析法の標準化をめざし、第 2 期に開発したフッ酸フリーマイクロ波分解-誘導結合プラズマ質量分析法の適用範囲を重金属だけでなく非金属のホウ素にも拡大し、また、産総研コールバンクの計 118 炭種の微量元素のデータベースを構築した。熱分解炉で発生した微量元素を損失なく誘導結合プラズマ質量分析計に導くためのインターフェースの開発と、多様な高温化学反応を迅速に行うための熱分解炉の開発を行い、標準物質により、当初の目標を満足する性能が得られていることを確認した。また、応用例として、金属試料中のスズの分析、メチル水銀と無機水銀の化学形態別分析へと展開した。大気中の PFOS/PFOA 関連物質を損失なく捕集できる大気低温捕集装置を企業と共同開発した。観測で性能を検証



しながら複数回改良を行い、外洋大気分析に適用可能な性能を達成した。

・水銀測定では、小型の水晶振動子金電極と金属水銀ガスとの直接反応を利用した、現場測定を可能とするシンプルな測定システムを開発し、最適な測定条件下で WHO 基準(作業環境・気相)レベルの濃度を測定可能にした。これらセンサに小型測定装置(ロガータイプ・無線化)を組み合わせることで、水俣条約でも課題とされているスモールマイニング作業者の金属水銀ガスの個人曝露測定が可能となった。プラズマ重合膜被覆 VOC ガスセンサの開発では、ガス検知膜にプラズマ重合膜を導入することで吸着ガスの脱離時間を 50%短縮し、再現性も 2 倍向上した。SAW デバイスを用いることで水晶振動子よりも小型・高感度化を達成し、多点連続監視システムを構築した。免疫センサ用フローセルの内容積が、従来比 1/100 の PDMS 製フローセルを試作し、流量、検出速度とともに従来の 1/10 とすることで抗体固定化から免疫反応の所要時間を 1/2 に削減できた。さらに抗体固定化用の高分子鎖導入では、その鎖上に酵素処理で小さくした抗体を固定化することで、従来技術の 2 倍まで検出限界値を向上させた。

・測定対象核酸を配列選択的に検出し電気信号を発する新規センサ技術を開発し、これを集積化したマルチセンサデバイスを開発した。またこの集積化に必要な微量液体ハンドリングを可能とする各種技術を開発した。これにより、毒性遺伝学で重要なマイクロ RNA 配列の、複数同時かつ配列選択的な同定に成功した。また、水質汚染物質の分析の基盤となる生物発光酵素として、従来より約 100 倍明るい世界最高輝度の生物発光酵素群を樹立し、環境診断やバイオアッセイに適用し高感度化を達成した。性ホルモン様活性、ナノ粒子の炎症効果、ストレスホルモン様活性を可視化する発光プローブ群を開発した。オンサイトで多数の環境サンプル計測のできるマルチチャンネル式発光検出装置類を開発した。さらに、ヒト人工多能性細胞において化学物質高応答性の遺伝子群を複数種同定し、これら遺伝子群を高発現させた機能性細胞センサの開発に成功した。毒物応答性細胞をマイクロデバイスに搭載した簡易環境診断チップの試作にも成功した。

・環境微生物の種類と数を迅速に評価するための基盤技術として、懸濁液中の微生物を迅速簡便に濃縮するための電場印可型マイクロデバイスの開発に成功した。環境微生物の MALDI-MS を利用した迅速識別法では、微生物菌体から迅速・簡便な手法によりバイオマーカーとなるタンパク質を抽出する前処理技術を開発し、さらに解析対象をバクテリアから真菌にまで拡張することにより、分析効率を 5 倍以上向上させた。環境中から採取した未知微生物群の分析に適用し、化学物質の分解特性との相関を解析した。国内の公的微生物保存機関と共同で、乳酸菌、化学物質分解菌、植物病原菌、病原性真菌、藍藻類などの微生物標準株 1000 株以上のマススペクトルデータを集約し、データベースを構築した。

## 6-(6)-② 産業活動の環境影響評価

[中期計画]

・地域、地球環境に対する産業活動の影響を適確に評価するため、温室効果ガス、エアロゾル、有害化学物質、生物多様性及び微生物活動の測定並びに吸収及び発生源推定の誤差を現状の 50% 以下とする技術を開発する。

[中期実績]

・温室効果ガス測定誤差の削減について、計測標準研究部門と協力して、1 段希釈質量比混合法で、従来の 1/3 となる SI トレサブルな大気観測用二酸化炭素標準ガスを作成した。温室効果気体複数成分同時観測システムを開発し、高精度現地観測に適用した。酸素濃度観測に基づく全球炭素収支推定解析法の改良により年々変動の推定に成功し、時間変動推定の不確かさを削減した。逆解法推定において、自然起源炭素吸収の経年増加を考慮することにより炭素収支の空間変動推定の不確かさを削減を進めた。九州北部のエアロゾルについて、黒色炭素、多環芳香族炭化水素、重金属等を用いて域外からの長距離輸送寄与を推定する手法を開発した。福岡におけるこれら指標成分の長距離輸送の寄与は年間を通じて 1/2 以上であることが判明したが、さらにこれらの指標を統合しケミカルマスバランス法を応用することで域外寄与の推定の改良を行った。残留性有機フッ素化合物群 (PFASs) の地球規模観測データを蓄積・解析し全球分布を示すとともに、世界で初めて海洋断面図を作成した。外洋海水中の短鎖 PFASs の分析法を確立し、大気中の PFASs を損失なく捕集する大気低温捕集装置を企業と共同開発し観測に適用した。

## 6-(6)-③ 二酸化炭素貯留技術の環境影響評価 (一部、別表 2-2-(1)-②を再掲)

[中期計画]

・二酸化炭素の海底下地層貯留技術や海洋中深層隔離に必要な環境影響評価のため、二酸化炭素の漏洩や注入を想定した室内実験等により、微生物活性や炭素等の親生物元素の挙動等、物質循環の駆動にかかわる過程へ与える影響について評価手法を開発する。

早期実用化を目指して、二酸化炭素地中貯留において、二酸化炭素の安全かつ長期間にわたる貯留を保証するための技術を開発する。大規模二酸化炭素地中貯留については、複数の物理探査手法を組み合わせた効率的なモニタリング技術の開発、二酸化炭素の長期挙動予測に不可欠である地下モデルの作成や精緻化を支援する技術及び長期間にわたる地層内での二酸化炭素の安定性を評価する技術を開発する。

圧入終了後における長期間監視のための費用対効果の高いモニタリング技術や、我が国での実用化に当たって考慮すべき断層等の地質構造に対応した地下モデリング技術を開発するとともに、二酸化炭素が地中に貯留されるメカニズムの定量的解析や、各地における貯留ポテンシャル評価等の基盤技術を開発する。また、安全性評価技術の開発と中小規模排出源からの排出に対応した地中貯留の基礎研究を実施する。

[中期実績]

・二酸化炭素の海底下地中貯留技術における、二酸化炭素漏洩の影響への懸念に対する科学的な検証結果を提示してきた。室内実験では、堆積物中の金属や炭酸塩の溶解に及ぼす影響と、海洋の物質循環をつかさどる微生物や各種酵素活性への影響を定量的に評価し、成果を国際学術誌にまとめた。さらに英国で実施された世界で初めてとなる実海域における二酸化炭素漏洩実験に参画し、室内実験では評価が困難な広域および長期的な影響評価を行なった。二酸化炭素の回収貯留に加えて、海洋生態系による温室効果ガス吸収促進技術として期待される沿岸生態系創生技術の検証を開始し、特に産業副生物である製鋼スラグを材料としたアマモ場造成に関する大規模な擬似現場実験を実施した。最新のメタゲノム解析手法も取り入れて、アマモの生育に関わる栄養塩について化学及び微生物的なプロセスを解明し、リンの長期的施肥効果、窒素代謝の促進、硫黄代謝の抑制という、これまで予測されていなかったスラグの効果を実証した。

・1)弾性波探査を補完するモニタリング技術開発のために、貯留層シミュレーション計算結果から観測可能な物理量の変動を計算するポストプロセッサを CO<sub>2</sub> 地中貯留サイトに適用するための改良を行い、CO<sub>2</sub> 圧入に伴う各種物理量の変動量予測と実際の試験サイトを想定したケース・スタディを実施した。これらの検討と並行して、米国の国立研との MOU の下、米国内 CCUS 実証試験サイトにおいて実際の CO<sub>2</sub> 圧入中の重力、AE、SP のモニタリング適用実験を実現した。さらに、モニタリング法改良のため、超伝導重力計並行測定を試行し、苫小牧実証調査サイトにおけるデータ取得を開始した。2)CO<sub>2</sub> の長期にわたる安定した貯留のために、室内実験等により断層・砂泥互層・軟岩の力学・水理学的特性等ならびに地化学データを蓄積し、我が国で考慮すべき地質条件に対応した地質モデリング手法開発を進めた。研究成果は、経産省の大規模実証事業候補地点(苫小牧)選定時にも貢献した。3)CCS 環境での微生物によるメタンガス生成メカニズム解明とその影響を考慮したリスク評価技術の改良を行った。

#### 6-(6)-④ 生態系による二酸化炭素固定能評価

[中期計画]

・環境影響を最小限に抑えた、生態系内炭素貯留を可能とする、森林や海域内生態系の炭素固定メカニズムの解明とその強化方法、モニタリング及び環境影響評価技術を開発する。

[中期実績]

・他研究機関と協力して陸域生態系の CO<sub>2</sub> 固定能観測に関するマニュアルを作成して公開した。森林炭素収支観測地に情報通信技術を導入し、観測地から所内データベースに至るデータ流通経路を確立した。現地観測の遠隔監視やデータ処理フローの自動化を構築し、観測停止によるデータ欠損の発生を平成 22 年以前と比して最大で 1/5 に低減するとともに、情報技術研究部門の地球観測グリッドを用いた衛星観測データ処理および地上観測と統合するアプリケーションのプロトタイプと接続した。森林生態系の光合成、呼吸量の分離評価による炭素固定メカニズム解明を目指し、現場観測に適した酸素濃度の高精度連続測定装置を開発した。空気力学的手法に適用して、大気-森林間フラックスの酸素:CO<sub>2</sub> 交換比を初めて直接観測し、土壌呼吸と光合成における同交換比をチャンバー法により観測した。得られた結果を光合成、呼吸量の分離評価に応用した。酸素同位体比観測を用いた解析により、全呼吸に対する地上、土壌呼吸の寄与の季節変動を明らかにした。同位体連続測定装置の開発を進め、レーザ光波長を室温で制御可能に改良することで長期高精度測定が可能になることを明らかにした。

・主に沿岸域における二酸化炭素の動態を把握するためのモニタリング技術として、小型の非分散型赤外分

析計モジュールを使用した卓上可搬型の連続二酸化炭素分圧測定装置を開発した。適切な温度条件設定と標準ガスによる校正を行えば、±10ppm 以内の精度で 1 ヶ月以上の長期連続測定が可能となることがわかった。さらに、同じ測定原理を用いた現場設置型のセンサーを開発した。耐圧水深 100m 相当で、精度±10ppm 以内、長期(1 ヶ月)ドリフトは 100ppm 以内で測定出来ることが確認された。また、同じく沿岸域における環境影響評価に適した海水中二酸化炭素関連パラメータの小容量測定法を開発した。10ml 以下の試料で、3つの炭酸系パラメータ(全炭酸、アルカリ度および pH)が pH 換算の精度 0.1 以下で測定可能となった。また、外洋域については、太平洋域の二酸化炭素分圧について、既存観測データを収集してデータベースを構築し、平年的な二酸化炭素の季節変化と変動量の分布を明らかにした。

## II. ライフ・イノベーションを実現するための研究開発の推進

### [中期目標]

国民が安心して暮らすことができる社会を実現し、ライフ・イノベーションを推進するために必要な安全・安心、健康に貢献する研究開発を推進する。具体的には創薬技術や医療診断技術の開発、人の健康状態を評価する計測技術、IT 技術センサやロボット技術による身体の負担軽減や介護支援技術等の開発を行う。

### [中期計画]

ライフ・イノベーションを実現するためには、疾病や事故の予防、治療や介護支援の充実に加えて、健康で安全な生活を送りやすくすることが必要である。疾病を予防し、早期診断を可能とするため、生体分子の機能分析、解析技術等の開発を行う。疾病の革新的治療技術を実現するため、効率的な創薬技術の開発、先進的な医療支援技術の開発を行う。健康を維持増進し、心身ともに健康な生き方を実現するために必要な計測、評価技術等の開発を行う。また、社会生活の安全を確保するための情報通信技術(IT、センサ)や生活支援ロボットの安全を確立するための技術開発を行う。

### 1. 先進的、総合的な創薬技術、医療技術の開発

#### [中期目標]

健康長寿社会のニーズに応えるため、創薬技術及び医療診断技術を含む先進的な医療支援技術の開発を行う。

#### [中期計画]

国民の健康のために、疾病の予防や早期診断、早期治療、個の医療の充実が求められている。これらの課題を解決するため、細胞操作及び生体材料技術を応用した再生医療技術や先端医療支援技術、医療機器技術等の開発を行う。また、有用な新規バイオマーカーを利用して疾病の予防や早期診断を行うため生体分子の機能分析及び解析技術等の開発を行う。さらに、情報処理と生物解析の連携、融合により、安全性を保ちつつ開発コスト低減に資する高効率創薬技術の開発を行う。

#### 1-(1) 細胞操作及び生体材料に関する技術の応用による医療支援技術

##### [中期目標]

再生医療等の先進医療支援技術を確立するための基盤となる細胞操作技術及び生体材料技術や診断機器の開発を行う。

##### [中期計画]

組織や臓器等の機能を根本的に回復する医療技術である再生医療に資する細胞操作技術、人工臓器等に用いる材料技術や、治療の安全や効果の向上に資する医療機器にかかわる技術の開発を行う。また、これらの先端医療支援技術等の実用化に向けた基盤整備を行う。特に、安定かつ性質が揃った細胞の供給に資する iPS 細胞の作製効率を従来の約10倍(現状1%以下を10%程度)に向上させる技術の開発を行う。

#### 1-(1)-① 幹細胞等を利用した再生医療等に資する基盤技術及び標準化技術の開発

##### [中期計画]

・骨、軟骨、心血管、膵臓等を生体組織レベルで再生する技術や神経ネットワークの再構成を促進する技術

等を開発する。iPS 細胞の作製効率の10倍程度の向上や新規な因子の探索、作製した細胞の評価技術の開発等により、創薬における医薬品の毒性評価や再生医療に必要な分化細胞や組織等を供給するための基盤技術や標準化技術を開発する。

[中期実績]

・高密度レクチンアレイを用いて各種ヒトiPS・ES細胞表面糖鎖を糖鎖プロファイリングした結果、ヒトiPS・ES細胞に特異的に反応するレクチン AiLecS1 を発見した。本発見をもとに企業との共同研究を加速させヒトiPS・ES細胞を生きのまま染色する技術、培養液を用いて非侵襲的にES/iPS細胞を誘導する技術、腫瘍化の原因となるES/iPS細胞を除去する技術を開発し、企業へのライセンスを介し上市達成、ないし目途を付けた。また、間葉系幹細胞の骨・軟骨分化能を判別するレクチン AiLecS2 の開発に成功し、企業からの製品化を果たした。

・低フォスファターゼ症患者由来間葉系幹細胞について、同疾患の病態解明・治療法確立に寄与するものとして同細胞からiPS細胞を樹立することに成功した。また、同疾患間葉系幹細胞に正常遺伝子を導入する遺伝子治療法の基礎技術も確立した。一方、セルプロセッシングセンターで製造した健康者骨髄由来の間葉系幹細胞を同疾患患者に他家移植として全身投与した「ヒト幹細胞臨床研究」では、全身の骨再生のみならず、延命効果等、顕著な有効性を確認した。

また、再生医療製品製造システムにおける各工程の装置同士を接続する装置の開発を行い、その規格についてヒューマンライフテクノロジー研究部門と連携してISO TC198/WG9へ提案した。この開発を端緒として、所内事業では再生医療用アイソレータの開発も行った。完成したアイソレータにおいて、従来の製造施設であるセルプロセッシングセンターと同等の細胞増殖能・分化能、また無菌性を保った培養に成功し、その製造に関する標準作業手順書もほぼ完成した。

・モデル脊椎動物としてゼブラフィッシュを用い、遺伝子操作により心筋損傷後の再生様式の可視化が観察可能な実験系を開発するとともに、分子・細胞・並びに発生工学的手法により、心筋損傷後の再生制御の分子機構解析を行った。主要な成果として、1) 変色性蛍光分子 Kaede を心筋特異的に発現するトランスジェニックゼブラフィッシュを作成し、心筋再生の可視化と定量化法を開発した。2) FGF、Wnt といったサイトカインが心筋再生時の細胞増殖に関わることを見出し、これらサイトカインシグナルの抑制や促進により、心筋再生の制御可能性が示唆された。また、3) ケモカイン CXCL12a とその受容体 CXCR4 がゼブラフィッシュの再生心筋の創傷領域への移動に必要なことを明らかにした。CXCL12a・CXCR4 シグナルの阻害は心筋細胞の再生自体や、再生過程の心外膜ならびに血管の形成に影響を及ぼさないことから、ケモカインシグナルに制御された再生心筋の移動が心筋再生過程において必要不可欠であることを明らかにした。

・再生医療等に資する基盤技術開発のため、集光レーザーを用いた神経回路網の微小操作手法の開発に取り組んだ。光ピンセットにより神経細胞内シナプス領域の集合操作が可能であることを蛍光相関分光法により実証した。光ピンセットによる神経細胞内分子集合操作を発展させ、量子ドットで標識した神経細胞接着分子の細胞表面における分子集合操作に成功し、レーザー集光領域に分子集合体が複数個捕捉され、レーザー光強度の増大に伴い分子集合体の運動が束縛される機構を解明した。また、二つのレーザーを集光する、或いは光ピンセットと表面プラズモン増強効果とを組み合わせることで、神経細胞表面に局在する分子群が効率よく光捕捉されることを明らかにし、新たな分子操作技術への応用を見出した。さらに、高強度フェムト秒レーザーを用いた多点電極皿への細胞パターンニング技術を開発し、集光フェムト秒レーザーによる単一神経細胞の光刺激手法を蛍光解析および細胞外電位計測により実証し、神経回路網の結合評価への有用性を示した。

・神経栄養因子 BDNF サブタイプの一つが高発現となった遺伝子組み換えマウスのうつ様表現型に注目し、そのモデル動物の分子細胞病態を定量化できた。その深刻な病態に一致した抗うつ薬抵抗性を行動薬理実験に見出し、細胞モデルの構築によりその分子病態の詳細を解明してきた。さらに、発症時期、抗うつ薬抵抗性となる時期は生後8週齢と成体であった。一方、このような病態研究から見出された分子群の中でヒトの治療抵抗性うつ病の創薬になりえるものを調査してきた。その結果、特定の治療抵抗性患者群に関連する血中分子を見出し被験者数を増やした研究に進んでいる。以上の研究に付随して極めて新規な標的分子候補も見出した。今期を通して、分子レベル細胞レベルの解析を終了した。

・神経ネットワークの形成をより高度なものにするために、神経分化誘導物質等を探索し神経分化誘導研究を行った。高度な神経ネットワークの構築のため神経分化誘導物質探索を行い、小分子化合物・タンパク質等4種類の物質に神経分化誘導効果があることがわかった。この神経分化誘導技術の新法について最適培地の検討等の実験手法を改良して神経分化速度の均一化を行う事等によりさらに詳細な解析を行った。その

結果、新法により神経分化誘導を行うとコントロールと比較して成熟神経細胞マーカー遺伝子の発現量が 3 ~ 10 倍程度に増加することが明らかとなった。また、この方法で分化誘導した神経細胞に対してシャーレ上で神経ネットワークを形成させたところ、神経細胞軸索、樹状突起の形状から神経ネットワークの複雑さが増大していることが確認された。

・天然化合物を生産する二次代謝産物生合成遺伝子を用いた創薬リード化合物創出を展開した。この結果、これまで人類が利用出来なかった未利用（未知）生合成遺伝子を用いた天然化合物生産により、複数の新奇化合物を得ることに成功した。このように、未知のゲノム機能の役割を解明すると共に、それらを用いた物質生産等の産業応用に続く研究成果を出すことが出来た。

・1)ヒト iPS 細胞を未分化能を維持したまま効率良く培養できるマイクロチップの開発に成功した。2)ヒト多能性幹細胞(ES/iPS 細胞)を特異的に検出するマーカーAiLec-S1 を開発/上市し、品質管理技術基盤を確立した。3)多様で品質管理の困難なヒト間葉系幹細胞の品質カタログを臨床研究機関と連携して構築し、臨床研究の有効性を高めるための道筋を作った。4)細胞の初期化を効率よく行うために、最大 10 個の遺伝子を同時に搭載できる次世代 SeVdpベクターの開発に成功し、6 個の転写因子を搭載したベクターを使ってヒト線維芽細胞を 10%以上という高い効率で iPS 細胞に転換することに成功した。また、この技術を用いて、動物由来成分を一切含まない条件下でヒト末梢血単球から iPS 細胞を作製することに成功し、末梢血から臨床用ヒト iPS 細胞を作製するための基礎技術を完成した。さらに、この技術を用いて血液細胞から神経幹細胞様の細胞を作製することにも成功した。

・1)心臓/血球形成ロードマップを構築した。2)AiLec-S1 を用いて、移植細胞内に混入した腫瘍源細胞を除去、殺傷、検出する技術、樹立直後の ES/iPS 細胞を単離する技術を開発し、上市に向けた検証研究を共同研究先の試薬メーカーと行った。また呼吸器疾患の治療の細胞源となる肺前駆細胞を作製する分化促進化合物や遺伝子を同定することに成功し、細胞作製のための基盤技術を構築できた。3)カニクイサル神経幹細胞の培養条件の検討および神経・アストロサイト細胞への分化誘導を確立した。

・間葉系幹細胞は再生医療応用材料として注目されており、その標準化および規格化が必要である。そのためには網羅的な遺伝子の発現情報やエピゲノム情報を明らかにする必要がある。これまでに一塩基レベルでの DNA メチル化解析(エピゲノム解析)の報告はなく、我々は世界で初めての間葉系幹細胞の全塩基配列におけるエピゲノムプロファイルおよびエピジェネティクス制御を明らかにすることにより、再生医療に必要な間葉系幹細胞を供給するための基盤技術および標準化技術を開発した。明らかにしたエピゲノムプロファイルについてデータベース登録を行った。

・幹細胞や骨・軟骨細胞を対象として、マイクロ流路チップを用いた分離・操作の自動化と回収方法の検討を進め、安価かつ簡便に目的の細胞を分離する技術を開発した。リン酸カルシウムナノコンポジットに抗体を導入することで、細胞特異的な遺伝子技術を開発した。また、医療応用に向けて、厚労省認可済みの溶液原料を用いた製造技術を開発するとともに、ナノコンポジットの組成と構造(マイクロ形態・結晶構造)を制御するための条件(溶液濃度、反応時間、基材の表面処理等)を検討し、遺伝子導入効率向上のためのナノコンポジット設計指針を明らかにした。細胞分離システムのための幹細胞(間葉系幹細胞、iPS 細胞)癌細胞、そしてそれらの共培養系のモーター抗体を用いた量子ドット標識化技術を確立した。iPS 細胞に関して、未分化マーカー発現、核型解析、三胚葉への分化試験を用いたバリデーションの検討手法を確立した。また、間葉系幹細胞から骨、軟骨へと分化誘導するコラーゲン培養基材を開発した。細胞培養・操作のためのバイオセンサーチップ、ハイスループット解析法を開発した。

## 1-(1)-② 組織再生技術や生体材料技術を利用した喪失機能の代替デバイス技術の開発

### [中期計画]

・人工心臓の補助循環ポンプにおいて現状の3倍である90日の無血栓を達成する等、長期生体適合性を有する人工臓器等による身体機能の代替技術及び材料技術を開発する。

### [中期実績]

・1)がん再発防止のため免疫賦活分子-アパタイト複合物は臨床研究が終了し、その結果に基づき治療効果を高める改良が行われた。Ap-FGF 付加創外骨折固定ピンは臨床研究に至った。抗血栓性分子-アパタイト複合層はその形成方法を構築した。

2)長期生体適合性を有するAp-FGF付加創外骨折固定ピンと抗血栓性分子-アパタイト複合層による身体機能の代替技術、及び長期生体適合性と治療効果を併せ持つ免疫賦活分子-アパタイト複合物の材料技術を

開発した。

・高生体適合性チタン合金の低コスト化製造プロセス及び評価技術を開発し、個々の患者の骨格構造に最適なインプラントを用いた身体機能の代替技術を開発した。具体的には、

1) 高生体適合性チタン合金を用いて熱間丸棒圧延条件を検討した結果、100%BCC 組織となる変態終了温度を基準に 60°C 程度低めの温度で熱間圧延を開始することで、105mm 角の合金が直径 25mm まで 2 分間程度で丸棒まで圧延でき、高強度・高延性・高耐久性が実現できることがわかった。

2) 直径 25mm の丸棒を用いると日本人に最適な人工関節ステム等に効率よく型成型できることが明らかとなった。

3) ステム表面に割れ等もなく、型成形品のマイクロ組織は、均一で良好であった。

・人工心臓の補助循環ポンプを 90 日間無血栓で連続運転を達成するために、長期生体適合性を有する人工臓器技術、材料技術、評価技術を開発し、in vitro 血液試験で評価した。

動圧軸受を採用した遠心ポンプについて、グリセリン水溶液を使用した 90 日間の連続運転達成に成功した。また、チタン材料片にアルブミンを担持することで、生理的血流条件においてもアルブミンが剥離することなく優れた抗血栓性を示すことを実証した。これらにより、アパタイトの存在下でアルブミンを担持したチタン製の動圧軸受遠心ポンプが、90 日の無血栓を達成できることが示された。

### 1-(1)-③ 医療機器開発に資する先端技術の開発と実用化に向けた基盤整備

[中期計画]

・短時間で計測可能な高速診断法、細胞や組織における分子の機能を解析可能な画像診断法等、治療の安全と効果の向上を目指した技術を開発するとともに、医療機器の迅速な製品化に資する開発基盤を整備する。

[中期実績]

・分子プローブ修飾ナノニードルを用いて、生きた細胞内の mRNA とタンパク質の検出を行う技術を開発することを目的とした。mRNA の検出においては、ヒト細胞の GAPDH mRNA を標的とし、モレキュラービーコン修飾ナノニードルを細胞に挿入し、検出する技術を開発した。金コートナノニードル上に SAM 膜を形成し、これを介してモレキュラービーコンを固定化する手法を開発し、従来のアミノシラン層を介してモレキュラービーコンを固定化する手法に比べて、より高感度に標的 mRNA を検出することに成功した。タンパク質の検出においては、中間径フィラメントネスチンを標的とし、抗体修飾ナノニードルを細胞に挿入し、抜去する際の結合破断力を測定する技術を開発した。分化誘導前の iPS 細胞においてもコロニー周辺部でネスチン発現が認められた。さらに、高転移性の乳ガン細胞でネスチンを特異的に検出することに成功し、多様な細胞におけるネスチン検出を達成した。

・細胞の粘弾性計測による細胞の評価では、細胞の機械的特性の非破壊的な測定によって Nanog 遺伝子産物発現細胞を識別するため、安定的に Nanog 遺伝子産物を発現する間葉系細胞と非発現細胞との比較検討を行った。Nanog 遺伝子産物の発現により細胞の形態変化、細胞内のアクチンフィラメントの構造変化、および細胞の粘弾性の変化が起こることを明らかにした。以上のことから、粘弾性計測により非破壊的に遺伝子発現の差異を評価できることを明らかにした。

・医療機器の迅速な製品化に資する開発基盤の整備として、経済産業省「医療機器等の開発・実用化促進のためのガイドライン策定事業」を進めた。本中期計画期間内に、開発ガイドライン案を 26 件策定、うち経済産業省から 12 件を公開した。また医療機器開発ガイドラインの普及啓発のためのセミナーを 7 件開催し、のべ 1144 人の参加者を集めた。また 3 テーマが国際標準策定と連携して一体的な知的基盤の形成を図った。

・水中が見れる大気圧電子顕微鏡 ASEM の開発に成功した。分解能は 8nm である。ASEM は、数個の癌細胞の転移でも認識できることが判明したため、これまで時間がかかった癌の術中迅速診断を早める可能性がある。さらに、病原細菌やマイコプラズマ(大腸菌の 1/25 の体積)をも迅速観察できた。診断の難しいマイコプラズマ肺炎をはじめとして、様々な感染症の迅速診断・研究への応用の道が拓けた。また、ASEM では抗原は水中で保護されるため、抗体を選ばない短時間での免疫電顕が可能である。創薬マーカーのグルタミン酸受容体・P-セレクチン(血小板)・発生因子 FAS・CD44(癌マーカー)・微小管などの免疫ラベルに成功し、さらに重金属で組みあわせ染色し抗原周辺の情報を可視化した。ASEM の高分解能を考え併せると、診断を始め、分子レベルでの様々な応用が期待される。

・民間企業と共同で血糖値センサーの開発を行い、プロトタイプおよび半量産製品を開発、製造した。具体的

には、各材質が基材:PET、電極:薄膜白金、酵素:FAD 依存性グルコースデヒドロゲナーゼ、メディエータ:フェリシアン化カリウムで、UVレーザーによるレーザートリミング法を用いることによりチップを試作し、必要サンプル量:0.2 $\mu$ L、検出範囲:20-600mg/dL、測定時間:5 秒の性能を有するセンサーの開発に成功した。血球フィルタ機能を開発し、ヘマトクリット(Hct)0-60%で測定誤差の低減を目指した。カルボキシメチルセルロース(CMC)を電極上に設置することで Hct 依存性が $\pm 10\%$ 以下となることが確認された。電極素材として白金、パラジウム、金を評価した結果、白金が最も電流応答性の再現性が良いことが確認された。またパルス状にプレ電圧印加することで測定精度が向上した。さらに高速 LSV(Linear Sweep Voltammetry)を行うことで Hct の電気化学計測が可能となった。これらにより、試験結果ながら同時再現性は CV 値 2.6%が確認された。

・医薬品アッセイを目的とした細胞チップについては、いくつかの共同研究を開始し、実用化への道筋が明らかになった。光分解性ゲルを開発し、それを用いたがんの革新的細胞診断装置の着想に至り、試作機を用いて仮説検証を開始した。

## 1-(2) 生体分子の機能分析及び解析に関する技術

### [中期目標]

医療支援技術として、生体分子の機能分析及び解析技術と、それらの技術に基づく創薬技術の開発を行う。

### [中期計画]

疾病の予防や早期診断、早期治療の指標の確立等を目的として、有用な新規バイオマーカーを同定し、それを評価利用する技術の開発を行う。また、新薬開発コスト低減に資する創薬プロセス高効率化のための基盤技術の開発を行う。さらに、これらの技術に資する生体分子の高感度検出技術、計測及び解析技術の開発と標準化を行う。特に、感染症の拡大の防止等、医療に役立つ新規抗体の生産に必要な期間を従来の1/3程度に短縮する技術の開発を行う。

## 1-(2)-① ナノテクノロジーと融合した生体分子の計測、解析技術の開発と標準化

### [中期計画]

・生体分子の計測、解析機器の高度化と標準化を目的として、バイオテクノロジーと情報技術及びナノテクノロジーを融合し、バイオマーカー検出限界を従来技術の10倍以上向上させる等、生体分子、細胞等を短時間で簡便に分離解析できる手法や素子を開発する。

### [中期実績]

・骨髄増殖性腫瘍における変異型遺伝子量の簡便、低コスト、正確な JAK2 点突然変異率の定量技術を確立し、大学病院等と連携して臨床サンプルの定量に適用した。また、米国国立標準技術研究所(NIST)との共同研究を実施し、次世代 DNA シークエンサを利用した核酸標準物質の評価技術を開発した。また、企業と連携し、簡便、低コスト遺伝子定量技術(Universal Qprobe 法)の事業化に成功した。臨床検査等での核酸計測の互換性向上と標準化、ヒト由来核酸の測定プロセスの精度管理を目的に、複数のスパイクイン核酸標準物質(5 種)の作製・評価を完了し、認証標準物質としての頒布を開始した。骨髄増殖性腫瘍等に関連するマーカー遺伝子の核酸標準物質候補品を作製した。さらに作製した核酸標準物質候補品の品質について次世代シークエンサを用いて評価した。

・ガン転移等に関わる疾病マーカー候補として注目されているガレクチン類( $\beta$ -ガラクトシド結合性タンパク質)を非免疫的手法により高感度に検出できるような糖鎖チップの開発を目標とした。ガレクチン結合性糖脂質の合成については、調製容易なアセチル化ラクトールに対してアルコール類とスルファミン酸誘導体とを位置及び立体選択的に付加させる新規アミドグリコシル化反応を見出し、各種ラクトサミン型脂質を効率よく合成することができた。さらに電気化学的検出が可能なフェロセン基を認識部位近傍に有する新規ガラクトシド系糖脂質を 5 種類合成した。金基板上で糖脂質含有ナノ分子膜を構築し、表面プラズモン共鳴(SPR)により、レクチン(ガレクチン)類の検出に最適なナノ構造を見出し、nM レベルでの高感度検出に成功した。さらに、電気化学活性基を導入した合成糖鎖や微粒子を用いて、ガレクチン類の選択的かつ高感度検出(nM $\sim$ pMオーダー)を実現した。

・どのような構造の修飾表面が構築されているかを電気化学的に解析するために、フェロセンをプローブ分子

として導入した種々の表面修飾材料を合成し、分子レベルで構造制御した界面構築法を検討・確立した。本手法で得た知見に従ってタンパク質固定化表面やタンパク質非特異吸着抑制表面を構築することにより、計測システムによって様々である基板表面に応じて高機能なセンシング界面を構築できるようになった。その応用例として、導波モードセンサーのバイオセンサーとしての機能評価を実施した。基板表面を分子レベルで構造制御表面修飾して目的とするセンシング界面を構築し、抗原抗体反応を用いてバイオマーカー検出を行ったところ、血清中でも 100ng/mL までバイオマーカーを検出できることを見いだした。

・高性能電気化学センサ実現のため、表面を窒素や酸素に置換したカーボン膜電極を開発し、核酸関係マーカーである 8OHdG の検出を行い、組成や構造を最適化し、検出下限 1nM、CV<1%を達成した。次に、表面を UV/オゾン処理でナノ加工したカーボン電極を作製し、ビリルビン酸化酵素を修飾して酵素と電極との電子移動を 30 倍以上に増幅させた。この原理を応用して、カーボンナノファイバーを修飾したカーボン膜電極にチトクローム C や代謝酵素であるチトクローム P450 を修飾し、電流を 5 倍以上向上させた。更に薬物代謝による電流増幅を観測し、薬物代謝センサとしての原理確認を行った。更にカーボン膜電極をナノカーボン電極を用いた内毒素検出において、内毒素を捕捉する微粒子と合成プローブ分子、更には、マイクロ流路型センサ化の検討を行い、検出限界 100pg/mL 以下を達成した。

・濃縮機能を有する新規光学プローブとしてチオコリンを合成し、金電極上での電気化学発光を大幅に高輝度化することに成功した。さらに、アセチルコリンエステラーゼ(アセチルチオコリンからチオコリンを生成する加水分解酵素)を標識した抗体を用いた新規酵素免疫測定法を提案し、1nM 以下のタンパク(TNF- $\alpha$ )の検出に成功した。さらに、重金属イオンで標識化した複数種の分子プローブを系統的に開発し、1) 蛍光法を利用した *in vitro* 系におけるタンパク質の迅速かつ高感度(1.0nM 以下)検出法の確立、および 2) 電気化学測定法を用いたリポポリサッカライドの高感度検出を達成した。加えて、基板上にナノ分離膜構造を構築することにより、糖鎖を用いてレクチン類を選択的に高感度検出(nM~pM レベル)することに成功した。

・ユーグレナは直径が数マイクロメートルの粒子を、その乾燥細胞重量の半分程度も蓄積する。さらにこの粒子はユニークならせん構造を特徴とするグルコースポリマー( $\beta$ -1,3-グルカン)だけで構成される高純度多糖粒子であることから、新規な材料素材として有望と考えられる。そこでこの多糖粒子を出発物質として、多様な材料素材としての可能性探索を念頭に置いて種々の誘導体の合成と材料調製、およびその物性評価を行った。具体的には以下の通り。1)  $\beta$ -1,3-グルカンにカルボン酸を導入することにより、らせん構造を基本とするナノファイバーからなる水和ゲルや有機ゲル、透明薄膜を形成できることを確認した。2) 脂肪酸を導入することにより熱可塑性を付与することができ、その結果、耐熱性等に優れた熱可塑性樹脂や半合成繊維を調製できることを見いだした。3) 高い曳糸性を付与することにより、強度や吸湿性等に優れた天然繊維へと紡糸できる手法を確立した。

・特許実施契約を締結した企業と共同で、原理実証プロトタイプ機を基盤として、製品化プロトタイプ機の開発を進めた。小型化と低コスト化に重点を置いた製品化プロトタイプ機 1 号機を作製し、評価を行い、2 種類の細胞種の選別を達成した。さらに製品化に向けて一層の改良が必要と認められたため、実用面に重点を置いて、検討と装置改良を行った。装置の検討・改良に加え分離に関する機構の設計をも見直し、製品化装置の開発を着実に進めた。製品化に必要な処理速度などが十分な性能に達することができなかつたため、選別可能な細胞種数、処理速度、動物細胞を用いた分離の評価は製品化プロトタイプ機 2 号機では実施できなかったが、試作機の完成を見越して、細胞サンプル面で徳島大学との共同研究による動物細胞解析や蛍光性の大腸菌・酵母等の準備を進め、また当該装置に最適なマイクロ流体チップの試作・検討を実施した。また解決すべき処理速度の原因であるレーザー走査速度の問題点を明確にすることができ、この点を解消することで製品化プロトタイプ機 2 号機の完成が達成できる目処が立った。

・1) 分子分光法を用いたバイオマーカー検出は高速性、非侵襲性、簡便性などに優れる。分子分光法には吸収、ラマン、蛍光などがあるが、バイオマーカー分子が極微量である場合が多いため分光法を超高感化することが重要である。そこでプラズモンを利用した超高感度分光(プラズモン増強分光)の標準理論構築を行った。標準理論としてプラズモン共鳴と分子分極との弱電磁結合モデルに着目した。その結果、分子の光学応答断面積、プラズモン共鳴増強因子、励起レーザー波長の関数として分光計測結果をこのモデルで定量的に再現できることを証明した。2) プラズモン増強分光実用化に向けたプラットフォームの構築を行った。リン青銅表面への銀ナノ粒子析出現象を利用し数分で高感度なプラズモン増強分光基板を作成した。また、干渉フィルターの回転角依存性を利用した面分光法を開発しプラズモン増強分光に応用した。3) タンパク質分子を用いたプラズモン増強分光応用の探索研究を行った。プラズモン増強分光実用化に向けて阻害分析法とプラズモン増強



分光を組み合わせ、タンパク質分子と疾病マーカーバンドの同定を行い単分子感度で生体分子が識別できることを明らかにした。

・ナノバイオコンジュゲートは画像処理や治療法に用いる作用剤として将来的に有望である。第3期中期計画では、官能性金クラスター、量子ドット、フォトアンケーシング蛍光磁性バイモダルナノプローブ等多くの新規ナノバイオコンジュゲート開発に成功した。このようなナノバイオコンジュゲートを用いることで、細胞内における単一分子の検出、細胞の標識化と画像化、培養細胞の画像化を達成した。さらに金クラスターで効率的に一重項酸素を生成し、試験管内の光線力学的治療実験でがん細胞生存率を40%まで抑制することに成功した。また、新規FRET-RAP手法を開発した。抗体とEGFを接合した量子ドットを使用して、細胞内EGF受容体のクラスター形成と二量化の発症メカニズムを明らかにした。前述した新規バイオナノコンジュゲートは大学等との共同研究へ繋げることが出来た。

・実時間型の1分子DNAシーケンシング技術の開発では、原理実証機を基盤として、DNAポリメラーゼ(酵素)が連続して取り込む蛍光標識した塩基の数を評価した。その結果、50個以上へ拡張は未達成であったものの、蛍光標識と塩基の間のリンカーについての改良や室温で活性を有する新規酵素の探索と単離・機能解析により30塩基までの取り込みに成功した。さらに基質のリンカーを長くすることや、蛍光色素に代わる金属ナノ粒子による塩基標識により、取込み効率や標識塩基のプラズモン共鳴光散乱を用いた発光増強効果による高感度検出が改善され、取込み数を増やすことが可能なことを示唆するデータが得られた。それにより目標としている50塩基が実現できる見通しを得た。

・細胞膜の急速凍結レプリカ観察に、高角度環状暗視野走査透過電子顕微鏡法および電子線トモグラフィ法を導入し、細胞膜形態の三次元画像取得の方法論を構築した。この技法を膜上の細胞間結合タンパク質及びナトリウムポンプタンパク質の解析に適用し、分子分布状態、会合状態の検出方法を開発した。好熱細菌が産生する対変性剤高耐性プロテアーゼが膜構造分子集合体に埋め込まれた状態にあることや、大腸菌における化学受容体分子の大量発現が細胞膜上のクレバス構造を形成させることを明らかにし、あわせて細菌の解析評価に最適化した新規な試料急速凍結台を開発し、安定的な試料作製プロトコルを実現した。ソフトナノ材料の電子顕微鏡解析でも、専用の試料台やプロトコルを開発して評価方法を完成し、脂質リポソーム膜、生物資源由来のナノファイバーやウルトラファインバブル(ナノバブル)の形状観察に成功した。

・環境や生体中における微量元素を短時間で簡便に分離解析できる機能性分子素子を創製することを目標としており、銅およびニッケルイオンをそれぞれ選択的かつ高感度で検出できるジケトン型の有機蛍光配位子の合成に成功した。この配位子により、マイクロモラーレベルの銅およびニッケルイオンを短時間で分離解析できる基盤技術が構築でき、高性能素子の開発に一定の目処をつけた。この配位子の特徴は、分子内にグリシン残基を導入すると、その金属選択性が銅からニッケルイオンへと変化することである。この配位子において金属イオン選択性を決定づける要因を明らかにするため、モデル化合物を合成して比較実験を行った。その結果、配位子分子内の水素結合能が選択性に大きな影響を及ぼしていることがわかった。本研究により、生体分子の計測、解析機器の高度化に資する新しいセンサー素子の設計指針を得た。

・第3期は、波長オーダーの周期構造基板を金属薄膜等でコーティングしたプラズモニクチップ上の増強蛍光を利用し、高感度・迅速・少量でのマーカー検出に取り組んできた。高感度検出のためのチップの構造の検討を行い、蛍光強度の増大とともに、背景光のばらつきの抑制が重要であることが示された。抗体の結合方法などチップ表面の修飾方法やアッセイ条件についても検討し、その結果、プラズモニクチップを用いて数十fMまでマーカータンパク質をサンドイッチアッセイにおいて検出することができた。また、プラズモニクチップ上で細胞を培養することができ、蛍光顕微鏡観察において、10倍以上明るくコントラストのよい細胞の蛍光像を取得することもできた。

・新規セルソーターシステム開発では、従来標的に出来なかった細胞内のマーカータンパク質を標的とした新しい細胞分離技術の開発を目的とした。5mm角のシリコンウエハ上に、直径200nm、長さ20μmのナノニードルが、100×100本、計1万本規則正しく配列したナノニードルアレイを作製した。このナノニードルアレイを、標的タンパク質を結合する抗体で修飾し、基板上に配列した1万個の細胞アレイに同時に挿入、細胞内部の標的タンパク質を抗体で結合した後に、ナノニードルアレイを引き上げることにより、標的細胞のみを機械的に釣り上げ、分離する技術を開発した。標的である中間径フィラメント、ネスチンを発現するマウス胚性がん細胞P19で平均回収率21%を達成し、ネスチン陰性であるマウス繊維芽細胞NIH3T3の混入率は4%であった。この結果から、ネスチン陽性細胞を特異的に分離することが可能であることが示された。本技術のさらなる発展により、iPS細胞から分化誘導された細胞群から、目的の細胞のみを正確に分離することが可能になると期待できる。

・高速化した回折点運動計測装置を用いて、1 分子動態計測(DXT)を行うことを目標に研究を遂行し、従来の X 線構造解析では捉える事のできなかつた nAChR の一分子動態計測に成功した。アセチルコリン結合タンパク質 AChBP 及び nAChR は、リガンドフリーの状態では自律的な摂動を示し、リガンド存在下では傾動→回転→傾動のダイナミックな動態を示した。また、リガンド存在下で nAChR では見られて、膜貫通領域のない AChBP では見られない動きは、チャネル部分の開口過程もしくは desensitization に起因する動き(制動)を見ている可能性が示唆された。

・1)ロボットにヒトが実験に用いる一般的な実験器具を使った動作を移植することに成功し、実際のサンプルを使用し、ヒトを上回る精度と再現性で実験結果が得られることを確認した。2)ピペット操作や遠心分離といった個別の作業を個別のロボット動作として保存・管理し必要に応じて組み替えられる動作パッケージを構築した。3)従来のロボットコントローラーを使用せずに、パソコン上からロボットを動作させるシステムを構築した。4)パソコン上で個々の動作を組み合わせて、様々な実験手法を作成しロボットに実行させるソフトウェアを開発した。5)ロボット作業未経験者により上記ソフトウェアを使用させ、実際にロボットを動作させ実験作業を行うことが可能であることを確認した。

## 1-(2)-② 身体状態の正確な把握に資する糖鎖やタンパク質等のバイオマーカーの探索、検知法開発とその実用化

### [中期計画]

・がん及びその他の疾病の予防や診断及び治療に利用するため、動脈硬化を伴う脳や心血管障害の直接評価やがんの識別を可能にする血清バイオマーカー等、有用な新規バイオマーカーを同定し、それを評価、利用する技術を開発する。

### [中期実績]

・これまでの糖鎖バイオマーカー開発の経験から、血清などの生体試料中に微量に存在するバイオマーカーをエンリッチし、複数のレクチンを並行して用い、タンパク質上の疾患特異的な糖鎖変化を定量的に検出する系の必要性が生じた。そこで、前処理から測定までを自動化できる一体型装置の開発を臨床検査機器企業と共同で実施した。平成 24 年度から 3 年間の実施期間であったが、それぞれの役割分担を明確にし、効率よい開発が進められ、当初の予定通り全自動装置の試作機を製作し、その実効性を評価できた。現時点では比較的液中濃度の高い糖タンパク質を用い、マルチアッセイの自動化を実現した。

・疾患関連糖鎖バイオマーカー探索において未解決の課題であった極微量(フェムトグラムオーダー)の糖タンパク質の糖鎖解析、硫酸化糖鎖を有するタンパク質の濃縮、ムチンの簡便な分離分析について、それぞれ新たな方法論を開発し、小細胞肺がんのバイオマーカー候補を見出した。さらにムチン分離法として独自に開発した分子マトリクス電気泳動については膵臓疾患関連バイオマーカーの探索を目的とした膵液および胆汁中のムチン分析へ展開するとともに分子マトリクス電気泳動用薄膜作成法の改良、また、ムチンの分離だけでなく分離したムチンの高感度染色法や同定法についても成果を得た。さらに、本法のレクチン親和電気泳動への展開を試み、それを活用して抗体医薬の糖鎖修飾不均一性の評価に利用できる可能性があることを見出した。

・肝線維化マーカー WFA-M2BP については産学官共同研究により有用性検討を進め、PMDA 承認後に平成 27 年 1 月に保険収載に至っている。当該マーカーは診断薬販売会社より市販化(M2BPGi)された。また、中国の臨床機関とも連携して有用性検討を進めた。胆管がんマーカーでは複数の候補分子の発見に成功し、実用化に向けた検査キット開発ならびに海外を含めた共同研究による多検体解析(検体収集と測定)が進んだ。また、新たな肝疾患(肝硬変等)マーカーを発見し、その臨床的有用性を更に検討するための(自動)検査系開発ならびに多検体解析を進めた。卵巣がんマーカー(特に明細胞がん)の検出に有用と思われる糖鎖バイオマーカー分子を発見した。当該マーカーは企業との共同研究による新規検出系を用いることにより、非常に感度を要する血清での分子検出が可能となりつつあるため、臨床検体での検討を進めた。肺がんのマーカーについても候補分子を発見し報告している。また、臨床サイドから求められる(組織鑑別を主な目的とした)新たな糖鎖バイオマーカー分子探索を産学官の共同研究にて進めた。

・ヒトの発がんにおけるモーターと CARF の機能的な重要性を明らかにした。モーターは、がん化抑制因子の p53 を不活化し、テロメラーゼ及び hnRNP-K を活性化して細胞形質転換(がん化)を促進するため、がん治療における標的分子になると結論した。また、CARF が P53、p21、HDM2 の上流因子として細胞増殖を制御することを明らかとした。CARF は細胞の生存に必須のタンパク質であり、ノックダウンはがん細胞のア

ポトシスを導いた。また、CARF の過剰発現は、活性な p53 の機能とともに早期の細胞老化を引き起こす一方、p53 欠損細胞では、がん化を導いた。細胞老化・老年性疾病・がんの制御における CARF の役割についてのさらなる研究が是非とも必要である。

・アシュワガンダ葉から各種の抽出物を得て、細胞を用いたインビトロ測定、およびインビボの腫瘍形成と転移の測定から、抗がん活性を明らかにした。有効成分の同定とその抗がん活性の機序は各種のバイオインフォマティクスと実験手法により決定した。アシュワガンダ葉とその有効成分、ウィザフェリンA、ウィザノン及びトリエチレングリコールは、p53 と pRB 腫瘍抑制経路の活性化、酸化的ストレスの増進、及び細胞遊走と転移のシグナリングの不活化を通して、優れた抗がん活性を持つことを報告した。さらに葉の抽出物と精製された有効成分であるウィザノンの少量投与は、神経再生と抗ストレスの活性を持ち、抗ストレス・抗老化に極めて有用な予防効果を持つ天然物質であることを報告した。この五年間で、1)数か所で各種の方法により生育したアシュワガンダ葉につき、その治療に関する効果を試験し、2)優れた抗がん活性を得るための抽出法を開発した。

・1)政府インターネットテレビの京浜臨海部ライフイノベーション国際戦略総合特区で「プロテインアレイによる自己抗体プロファイリング」が紹介され、世界中に配信された。JST 先端計測において、プロテインアレイを用いた自己抗体プロファイリングを行い、潰瘍性大腸炎およびクローン病を診断可能な自己抗体群を発見した。厚生省治験に参加し、がんワクチン投与前後の自己抗体プロファイリングに成功した。

2)京大 CiRA の山中教授との共同研究において、安全な iPS 細胞を効率的に誘導する Glis1 遺伝子を発見した。Glis1 は平成 26 年に始まった世界初の iPS 細胞による臨床試験においても利用され、試験の実現に貢献した。また、歯髄細胞から高効率の iPS 細胞を誘導する因子を発見した。京大 CiRA、京都府立医大と共同し、角膜上皮や成熟幹細胞への分化誘導因子を発見した。

・1)骨髄高転移性乳がん細胞を用いた解析から、骨形成タンパク質の一つである BMP-7 が乳がんの骨髄転移に促進的に働くことを見出した。さらに皮下投与時の脊椎への転移性が 80%以上という、非常に転移性の高い乳がん細胞株を樹立した。また抗がん剤耐性がん細胞を用いた解析から、FGFファミリーの1つ FGF13 の発現が、抗がん剤耐性獲得に伴って上昇する事を見出した。さらに FGF13 遺伝子の発現を抑制すると、抗がん剤耐性が消失する事、抗がん剤に感受性の高い細胞で FGF13 遺伝子を過剰発現させると抗がん剤耐性を獲得することから、FGF13 の発現が抗がん剤耐性に重要な役割を持つ事を見出した。2)がん抑制遺伝子 Kank1 と相互作用をする低分子量 G タンパク質の機能解析を通じて、細胞運動、細胞増殖、細胞分裂などの細胞機能に Kank1 が関与することを明らかにし、Kank1 の機能喪失によるがん化のメカニズムとそれに関係するシグナル伝達経路の詳細を明らかとした。

・両生類とマウスの臓器形成ロードマップ、さらにヒト肺がんマイクロアレイデータベースを組み合わせ探索した結果、新規肺がんマーカー2つを同定することに成功した。さらにそのうちの一つの因子に関しては、東大病院外科及び病理との共同研究により、予後との相関を解析し、手術で治療可能な肺がんを同定するマーカーであることを解明した。また、さらに他のがんのマーカーとなりうるか検討を続けた結果、食道がんにおいて、がん細胞特異的に発現が観察され、他のがん種においても有効ながんマーカーとなりうる可能性が見出された。

### 1-(2)-③ 有用生体分子の構造、機能解析に基づく創薬基盤技術の構築、改良とその分子の高度生産技術の開発

#### [中期計画]

・生体分子の構造、機能及び作用機構を医薬品等の創成や診断手法に結びつけるための基盤技術を開発する。また、医療に役立つ新規抗体の生産に必要な期間を従来の1/3程度以下に短縮する技術等、パイオプロセスを活用した高品質、高効率な生産関連技術を開発する。

#### [中期実績]

・メタノール資化性酵母の糖鎖の改変を行い、糖転移酵素やライソゾーム酵素の生産を試みた。ライソゾーム酵素では 50 mg/L 以上の高生産性を達成し、病態モデルマウスを用いて治療薬としての有効性を確認した。転移酵素を活用して、グラム単位での糖鎖修飾を行なうことに成功した。またヒト型糖鎖生産酵母を活用して O-型糖鎖含有糖ペプチドの調製を行ない、この糖ペプチドを質量分析装置やレクチンアレイなどでの糖タンパク質分析の標準物質として活用できることを実証した。さらにメタノール資化性酵母から新たに複合型糖鎖加水分解酵素を見出し、in vitro での糖鎖改変技術を構築した。構造モデリングの結果から活性に関与すると

考えられるアミノ酸残基に変異を導入し、抗体 Fc タンパク質に対し、糖鎖転移反応を行なうため反応条件を最適化した。この技術を用いて、生物製剤などの糖鎖分析の際に必要な標準品の生産を行った。以上のように、メタノール資化性酵母を利用し医薬品等の創成に結びつけるための基盤技術を開発した。

・産総研独自に作成した糖鎖遺伝子欠損マウスを用いて、糖鎖不全が起因となる疾患病態をスクリーニングし、生体内での糖鎖機能とその欠損による疾患発症メカニズムを分子レベルで解明することを目的とした。糖鎖遺伝子欠損による表現型としては、ポリラクトサミン糖鎖欠損における免疫異常、コンドロイチン硫酸欠損による骨形成異常、コア 1 型糖鎖欠損による血小板減少、糖転移酵素様 GALNTL5 欠損による精子無力症の発症など数多くのヒトの疾患に関連する病態を見出した。その一方で、特定の糖鎖を持つ糖タンパク質を網羅的に同定するグライコプロテオーム技術開発を行い、培養細胞やマウス組織において特定の糖鎖構造を持つ N 結合型あるいは O 結合型糖鎖キャリアタンパク質を数百種類のオーダーで同定することができた。続いて、これらの技術を糖鎖遺伝子欠損マウスに応用した。糖鎖遺伝子欠損マウスは特定の糖鎖構造が欠損していることから、糖鎖・糖タンパク質構造解析技術の最適モデルとなりうる。糖鎖遺伝子欠損マウスにおける糖鎖構造変化と表現型を対比し、糖鎖が関与する新たな生体メカニズムの解明を行った。

・B 型肝炎ウイルスにおける糖鎖の機能解析と医用応用技術の実用化を目指した。HBV 粒子 (HBs 抗原) の糖鎖構造解析を行い、ワクチン開発への基礎情報の取得及び新規の抗体とレクチンを用いた HBV 検出法を開発し、B 型肝炎患者の血清測定を実施した (構造を診断手法に結びつける基盤技術)。次世代シーケンサーによるトランスクリプトーム解析結果を基に、siRNA スクリーニング系を開発し、HBV の分泌を抑制する糖鎖遺伝子を同定した (作用機構を医薬品の創成に結びつける基盤技術)。また、現行のワクチンより長い HBs 抗原を免疫したところ良好な抗体誘導結果が得られ、取得抗体から糖鎖を有する感染性 HBV のみをターゲットとする技術の開発へと進めた。酵母で糖鎖付き HBs 抗原を作製精製し、免疫試験へと進めた (構造を医薬品の創成に結びつける基盤技術)。以上を総合して、感染性 HBV 粒子の測定技術の開発、トランスクリプトーム解析と siRNA スクリーニングによる創薬ターゲット分子の探索に成果を上げ、さらに新規抗体・ワクチン開発を進めた。

・原虫感染症に対するワクチン技術を確立し、またその評価システムの構築を通じて、難治感染症の克服に向けた可能性を明確にした。とくに、ウシタイレリア原虫の克服に向けた技術を企業へ移転したことにより、日本の企業が原虫感染症ワクチンを製造販売する道筋を確立できたので、畜産業の振興に貢献できたと考えている。

・独自技術である、レクチンアレイ、糖鎖アレイ、FAC を用いた国内外の共同研究 (102 件、634 サンプル数) を展開し研究ハブとしての役割を果たした。40 種の組換えレクチン製造法を確立し、関連企業に技術移転、実用化した。糖鎖認識分子の進化指向性を予測する進化ポテンシャル法を開発し、ガラクトース結合性レクチン (EW29Ch) からガラクトース 6 硫酸特異的レクチンの開発に成功した。a2-3 シアル酸特異的レクチン (ACG) から GalNAc<sub>1-3</sub>Gal の創出に成功し、製品化に向け企業へ技術移転した。同レクチンから 3 硫酸化ガラクトースに結合性を示す変異体取得にも成功した。また、レクチン創薬への応用を視野に、抵抗原性のコアフコース特異的低分子レクチンの開発に成功した。

・グリコシルホスファチジルイノシトール (GPI) の脂質リモデリングの分子メカニズムおよびその生理的役割の解明を目指して研究を進めた。その結果、出芽酵母において、GPI アンカー型タンパク質のマイクロドメインへの局在に、脂質リモデリングが重要な役割を果たすことや、GPI アンカー型タンパク質の最終目的地の決定に脂質リモデリングが寄与することを明らかにした。また、これらのメカニズムに関与する新たな分子として、Cdc1 および Ted1 を見いだした。さらに、イノシトールアシル化酵素 Gwt1p の活性に必須な部位および膜配向を決定することに成功した。メタノール資化性酵母 *Ogataea minuta* に関しても研究を進め、出芽酵母と同様の GPI の脂質リモデリング経路が存在し、増殖に重要な役割を果たしていることを明らかにした。

・アルツハイマー病原因物質のアミロイド  $\beta$  やプリオン病の異常プリオンなどのアミロイド性タンパク質では、不規則な集積体ではなく、決まった  $\beta$  構造領域でのアミノ酸残基間の疎水性相互作用が積層して構造形成を誘導していることを突き止めた。また、蛍光タンパク質タグの付いたインフルエンザウイルスヘマグルチニン (HA) を約 20% の細胞数が発現する MDCK 細胞の作成に成功し、インフルエンザ感染予防物質のスクリーニング系を構築するとともに、インフルエンザウイルス膜成分を可視化できる新規蛍光物質の特性評価に成功した。

・抗体医薬品の精製工程で利用されているアフィニティリガンドタンパク質を高機能化するため、分子デザイン法で改良設計し、穏和な弱酸性条件で溶出可能な新規人工タンパク質の開発に成功した。この改変タンパク質の国際特許出願を行うとともに、有償研究試料提供契約および有償技術情報開示契約を国内民間企業と

締結し、実用化に向けた検討を進めた。さらに、資金提供型共同研究を開始し、4 件の周辺特許を共同出願し、産総研が単独で有する基本特許の権利強化を進めた。タンパク質の分子進化機構を模倣した新規分子設計法を開発し、小型人工タンパク質のファージディスプレイライブラリを構築した。選別した小型人工タンパク質の核磁気共鳴測定、表面プラズモン共鳴測定等を行い、その分子特性を分析した結果、抗体医薬の構造不均一性の品質を管理するための新型装置の技術開発に応用できることを確認した。この成果を国際特許出願するとともに、実用化に向けて、新規産省事業を立案企画し、民間企業 25 社を含む大型の技術研究組合の設立に協力し、サブプロジェクトリーダーとして開発した小型人工タンパク質を活用した新型装置の応用開発を民間企業と共同で進めた。

・96 種類の 0.2mL の培養液に含まれる 0.005mg/mL から 2mg/mL の抗体を 45 分以内に再現性良く精製し定量できる 96 ウェルマルチカラムプレート、及び、よりマイルドな条件 (pH=4.5 以上) で抗体の精製が可能な 96 ウェルマルチカラムプレートの開発に成功した。加えて、連続クロマトグラフィー装置を連結して抗体の 3 ステップ精製を可能にし、これまでに開発・改良してきた抗体精製のための要素技術を統合することによって、抗体の精製に必要な時間を短縮することができた。具体的には、汎用されているクロマトグラフィー装置やカラムを利用して培養上清から抗体を精製する場合と比較して、約 1/3 の時間で抗体を精製できるようになった。

・RNA プロセッシングにかかわる複数の酵素、酵素-RNA 複合体の構造解析、機能解析を行い、これらの酵素の反応分子機構、反応制御機構を次々と明らかにした。具体的には、低分子 RNA 発現制御に関わ鋳型非依存的 RNA 合成酵素の反応分子機構の解明、ウイルス複製酵素の反応制御機構、RNA の修飾の反応機構などを明らかにした。これらの成果は産総研研究者を筆頭あるいは論文責任者として国際一流誌に掲載されるとともに、成果のいくつかに関しては産総研、高エネルギー研究機構、JST からのプレス発表等を行った。

・抗体医薬品などの高品質組換え蛋白質を遺伝子組換えによりニワトリ卵内に高効率に生産させる一連の技術の開発を行った。主要な成果として、1) ヒト抗体医薬発現制御系をニワトリ始原生殖細胞に高効率に導入する方法を開発した。2) 電離放射線照射により内在性始原生殖細胞を選択的に除去し、移植組換え始原生殖細胞が 90% 以上の極めて高いキメラ率を有する生殖巣キメラヒヨコ作成法を開発した。3) 新たなニワトリ始原生殖細胞培養、遺伝子組換え、移植操作により、組換え後代を得た。4) ニワトリ始原生殖細胞を用いた遺伝子編集技術の開発を行ない、標的遺伝子を部分欠損する細胞株 4 系統の作製に成功し、組換え技術に依存しないニワトリ遺伝子操作技術開発に向けた端緒を得ることができた。

・生体分子の構造・機能・作用機構を医薬品等の創成や診断手法に結びつけるための基盤技術開発の一貫として、セルロース・キチン代謝系耐熱酵素群の結晶構造の解明および電顕像解析法の開発、抗酸化タンパク質の結晶構造解析、うつ病バイオマーカー候補としての BDNF 変異解析法の検討、好熱菌発現系の開発に取り組んだ。この結果、人工耐熱セルラーゼの高活性化改変に成功し、キチンから有用物質グルコサミンを高効率・低環境負荷で生産するバイオプロセスに利用可能な 4 種の耐熱性酵素の結晶構造および一連の反応過程を明らかにした。また、2 種の耐熱性抗酸化タンパク質の結晶構造を同定し、BDNF 変異迅速アッセイ用の候補抗体群を選別した。さらに、好熱菌発現系の基盤となるカロテノイド高産生ベクター系の開発、正確なプロモーター活性測定が可能な  $\beta$  ガラクトシダーセアッセイ系の構築に成功し、発現誘導系の構築に進んだ。

・第 2 期にて開発したヒト複合型糖鎖中間体を生産する酵母株の糖転移酵素遺伝子をさらに破壊することによって、酵母特有の O-結合型糖鎖を野性型酵母の約 50% 以下にまで低下させた株を新規に開発した。さらに、新規変異導入技術を適用することにより N-および O-結合型糖鎖を改変した酵母が示す増殖能の低下を回復させることに成功した。本酵母株のプロテアーゼ遺伝子である PEP4、PRB1 遺伝子を同時に破壊した株を構築し、タンパク質生産性の高い株を開発することにも成功した。また、増殖回復株がどのような遺伝子変異によって増殖能が回復したかを調べるべく次世代シーケンスによる全ゲノム解析を行った結果、変異遺伝子を見つけることができた。さらにヒト複合型糖鎖を合成するために必要な糖転移酵素遺伝子を導入することによりヒト複合型糖鎖を合成することができる出芽酵母株を新規に開発することに成功した。本技術開発により、出芽酵母を用いてヒト複合型糖鎖付加タンパク質を生産することが可能となった。

・生物発光を活用した薬効、毒性、食品機能性評価等に用いるセルベースアッセイシステムを構築した。アッセイに用いる発光細胞の樹立においては、人工染色体ベクターを活用することにより、複数種の発光レポーターを導入した多色発光細胞の樹立期間が従来法と比較し 1/3 以下に短縮できること、また樹立した細胞は従来法で作製した場合よりも高品質であることを証明した。さらに、樹立した発光細胞を用い、セルベースアッセ

いの感度向上に資する新規レポーター不安定化配列の導出に成功するとともに、現状では最高解像度の多色発光 1 細胞イメージングにも成功した。皮膚感受性試験の動物代替法として、多色発光細胞を用いた OECD テストガイドライン化に向けたバリデーション試験を実施し、試験結果に基づくバリデーションレポートを作成した。さらに、多検体の高精度発光セルベースアッセイを実現するため、マルチウェルプレートに対応し、複数色の発光を 1 週間以上に渡り連続測定可能な発光測定装置の試作に成功した。

・神経細胞でアクチンフィラメントおよび微小管の制御に関わり、アルツハイマー疾患との関連が示唆されるタンパク質 Gas7b について、電子顕微鏡構造解析を行った結果、Gas7b がアクチン同士、微小管同士を架橋し、さらにアクチンと微小管を架橋することがわかった。また、分子の特定部位を金粒子でラベルすることにより、Gas7b がオリゴマーを形成し、C 末側にある F-BAR ドメインで微小管およびアクチンと結合することを示すことができた。また、繊毛・鞭毛運動を駆動する分子モータータンパク質ダイニンの作動メカニズムの解明に向けて、力発生中のダイニンの構造変化を電子顕微鏡で高分解能観察するため、ダイニン・微小管複合体を構成する微小管同士を DNA 折り紙法で作成した構造体で架橋した新たな系を構築した。

・ラット膀胱ガン細胞(NBT-L2b)は高い転移性を有し、コラーゲン依存的な細胞運動能を示す。そこで NBT-L2b 細胞における細胞運動制御機構を明らかにするためにキノームスクリーニングを行い、その結果 32 の遺伝子を同定した。また、スクリーニングにより得られた情報に基づいてパスウェイ解析を行ったところ、同定した 30 タンパク質を含む、68 タンパク質から構成されるシグナル伝達マップの作成に成功した。描写した細胞運動のシグナル伝達マップを精査したところ、細胞運動における情報伝達経路は、最上流に位置する複数の受容体キナーゼからの入力情報がシグナル伝達ハブを経由して、さらに下流の各セルイベントに関与するタンパク質に至ることが判明した。そこで細胞運動時のシグナル伝達の様子を分子レベルで可視化するために、3 種のタンパク質を観察することが可能なマルチカラー全反射顕微鏡の構築を行った。本システムを用いて、作成した情報伝達マップ上存在する受容体、情報伝達ハブタンパク質、細胞骨格系などの 3 種類のタンパク質の同時観察にも成功した。

・独自の融合タンパク質を用いた共沈実験および蛍光顕微鏡観察により、アクチンフィラメントへのコフィリン結合がさらなるコフィリン結合を誘導するとともにミオシン結合を阻害し、逆にミオシン結合はミオシン結合を促進しコフィリン結合を阻害することを見出した。したがって、アクチンフィラメントの構造多型がコフィリンとミオシンの結合を相互排他的に制御することが示された。また変異アクチンの解析から、アクチンフィラメントの構造変化がミオシンによる運動にも重要であることが示唆された。さらにアクチンフィラメントの構造変化のメカニズム解明にも努め、高速 AFM 観察により、コフィリン結合に伴うアクチンフィラメントの構造変化がフィラメントのマイナス端方向に一方向的に伝播することを示した。

・新たな採水装置並びに観察装置の開発を行った。採水装置は、鉛直水柱の採水を可能にするものであり、動物プランクトン等大型の生物に関してはジャバラ式の採水装置を考案した。また植物プランクトンや栄養塩の鉛直分布の測定に必要な、真空式採水装置を考案、開発した。同装置により 2m の水柱を 50 層で採水し分析を行うことができた。またデジタルホログラフィー撮像装置の開発を行った。微粒子センサーを装備したため、粒子の出現を検知して撮像することが可能となった。1 回の撮影で 25cc の撮影を分解能 10  $\mu\text{m}$  で撮影でき、かつサイズ数 100  $\mu\text{m}$  以上の物質の出現を検知するセンサーを装備することで、個体数密度の低いプランクトンも効率的に検出できるようになった。動物プランクトンの行動特性を測定し、認知空間を明らかにした。

・生体機能に重要な膜タンパク質や高分子複合体などの構造や機能機序を高分解能で解明することを目的に、主に電子顕微鏡を用いた解析技術の開発とそれを用いた立体構造解析を行った。大量の画像データから情報学的に立体構造を導き出す単粒子解析法では、その環境整備や解析アルゴリズムの開発を行い、プロテアソームやウイルス外殻タンパク質複合体の構造解析に適用した。高分解能解析が期待できる二次元結晶解析に関しては、極低温電子顕微鏡でのデータ収集条件や電子線障害に関する検討を行い、より高分解の解析が可能になった。様々な核膜病発症に関与するラミンタンパク質に関して、その発現・精製・複合体形成に関する検討を行い、ある種のラミン病では分子内リンカー領域が疾病発症の鍵を握っていることを示した。

1) 毛包を含む皮膚で高レベルで発現するが機能未知であった FGF18 について、その皮膚特異的ノックアウトマウスを樹立して表現系の解析を行うことにより、毛成長周期休止期の維持の責任因子であることを世界で初めて実証した。2) 代謝制御に関わる FGF の作用について、糖鎖の重要性、受容体の特異性における動物種依存性、補助受容体との結合領域の重要性等に関して評価を行い、代謝制御 FGF の活性を利用した創薬に資する情報を取得した。3) 安定で退光しない蛍光色素を用いた病理検体の 4 重染色プロトコルを完

成させることで、多重免疫染色による腎がんの病理診断法の基礎を確立することができた。

・細胞分化や増殖に係わる生理活性ペプチドの分子骨格を鋳型とした新たなランダムペプチドライブラリを調製した。限られた微小空間に遺伝子とそれに由来するタンパク質を閉じ込めて試験管内進化を行う手法(IVC法)の条件を検討するとともに、次世代シーケンサーを用いた候補ペプチド配列解析の迅速化の条件検討を行った。これにより、ラット海馬の初代培養細胞において神経突起伸長活性を示すライブラリ画分を同定することに成功した。加えて、結合を指標に標的分子を選択する IVC 法で得られた数十万個のクローンを次世代シーケンサーにより解析、得られたデータから一時間以内に結果を得るプログラムの開発に成功した。また、大腸菌の内膜とペリプラズム空間を利用する PERISS 法を考案し、標的分子と相互作用するペプチドを回収して遺伝子情報を再生することにより迅速にスクリーニングする技術を開発した。また発生を制御するペプチドを同定・解析し、ホヤの感覚神経がヒトの目や耳などの感覚器とほとんど同じ仕組みによって作られることを明らかにした。

・1)超解像顕微鏡や大気圧電子顕微鏡を含む様々なイメージングシステムの改良とアプリケーションの開発を行い、ライブセル、あるいは生きた状態に近い細胞等を用いて核内分子や神経細胞の細胞骨格、神経シナプスにおける微細構造を数 10nm の分解能での解析に成功した。これらの成果をもとに、企業と共同でイメージングラボを立上げ、産学官の共同研究を加速する技術支援を行った。2)アルツハイマー病発症の主要要因とされるアミロイドβ タンパク質を生体細胞内で可視化した新規モデル動物の開発に成功した。またこの動物・細胞を用いた凝集抑制因子のスクリーニングを行い、新規の成分の同定に成功した。さらに、神経細胞の移動や形態形成を制御する新規のシグナル経路を同定した。3)動物脳の神経活動をリアルタイムでモニターする新規観察システムの構築に成功し、脳の情報処理における新たなメカニズムを発見した。

・電子顕微鏡を用いたタンパク質の構造決定法である単粒子解析法は、結晶を必要としない。本法は、最近、電子線直接検出センサーの開発によって原子分解能に到達したが、解析ソフトが未整備で膨大な時間がかかることが問題である。最新の情報学手法である SA 法等を用いて、アルゴリズムの開発に成功した。画像粒子の自動拾い上げ・分類・3次元角度決定、らせん構造決定アルゴリズムを含むプログラム群を開発した。開発した方法を用いて、新たに創薬に重要なタンパク質の構造解明を行った。シグナルペプチド(SP)切断に重要な SP 切断酵素(SPP)の構造を解明し、SP の膜透過に重要な SecDF の動態を解明した。SPP は C 型肝炎ウイルスの成熟に必須なため、創薬への貢献が期待される。さらに、微小管を従来法を超える 8.7 Å 分解能で構造決定した。微小管は抗癌剤の重要なターゲットなため、抗癌剤開発への応用が期待される。

・改良型 Cell SELEX 法を用いたレセプター結合核酸アプタマー取得方法を確立し、細胞小胞認識 RNA アプタマー、μオピオイド受容体高親和性結合 DNA アプタマーの創製に成功した。産学官 7 機関が参画する「顧みられない熱帯病治療のための共同研究」を開始し、立体構造解析に立脚した化合物設計と評価、および、原虫への薬理効果判断の高速・大量化に資する技術を開発し、それらを実践した。ガン転移関連因子の探索を可能にする細胞マイクロチップデバイス、小分子やタンパク質を細胞に導入するチップ、遺伝子デリバリー用マイクロマシンなどの開発を行った。試験管内免疫により、抗体産生細胞を誘導し、抗原特異的抗体を樹立した。放射線治療増感剤の有効性を検証し、血液 RNA のアレイ解析により生理状態評価を行った。二重鎖 RNA による乳酸菌に特有の抗炎症メカニズムを解明した。

・従来は 6 か月以上の長期間を要していた遺伝子増幅のステップを省略することができる、バイオ医薬品製造に適した次世代 SeVdp ベクターの開発に成功した。この技術を用いてヒト IgG 抗体の産生効率を検討し、ベクター作製から 5 週間未満で 40 pg/cell/day の高発現を実現した。

・バイオ医薬生産プロセスの革新を目的として、マスターセルの樹立からスケールアップ、品質管理に至るまで一貫して利用できる簡便迅速な糖鎖不均一性評価技術の開発を目指し、抗体医薬のトリプシン消化物から得られる糖ペプチドをキャピラリー電気泳動で迅速分析する方法を開発した。キャピラリー電気泳動の泳動条件を徹底的に最適化することで、糖鎖の違いによる糖ペプチドの分離を達成した。また、キャピラリー電気泳動は電気泳動移動度の経時的シフトや装置間差が大きく再現性が低いことが問題だったが、酵母の酵素を活用して合成した各種糖ペプチド標品を標準物質として活用し、さらに電気泳動移動度シフトを補正するための内部標準物質を用いることでこれを解決した。また、高感度化を進めるため糖ペプチドに蛍光ラベルを標識する検討を進めた。

・加速進化型の生理活性ペプチドの分子骨格を鋳型とするペプチドライブラリが、多様な標的分子を特異的に認識する高いポテンシャルを有することを実証した。即ち、その遺伝子が加速進化を示す蛇毒の神経毒ペプチドを鋳型とした 3 本指型分子骨格のランダムペプチドライブラリからは、試験管内進化によりインターロイキン 6 受容体、ニコチン性アセチルコリン受容体、トリプシン等に対して特異的に結合し、且つそれらの生理生

学的機能を修飾する活性を持つペプチドを単離・同定することに成功した。さらに、クモ毒の神経毒ペプチドを鋳型とするランダムペプチドライブラリからは、新たに開発した膜タンパク質を標的とする試験管内進化技術により、ムスカリン性アセチルコリン受容体のサブタイプを認識するペプチドを単離するに到った。以上のように、抗体医薬に代替する中分子創薬開発の基盤となる試験管内進化技術を確立した。

### 1-(3) 情報処理と生物解析の連携による創薬支援技術や診断技術

#### [中期目標]

ヒトの遺伝子、RNA、タンパク質、糖鎖情報等のバイオデータベースを整備するとともに、医薬品開発のため、それら情報の利用技術の開発を行う。

#### [中期計画]

効率的な創薬や、個の医療の実現に向けて、ヒトの遺伝子、RNA、タンパク質、糖鎖情報等のバイオデータベースを整備し、それらの配列情報と分子構造情報を用いた創薬支援技術及び細胞内のネットワーク、パスウェイの推定やシミュレーション等のシステム生物学的解析を用いた創薬基盤技術の開発を行う。特に、医薬品候補化合物について従来の5倍程度の効率で選択することを可能とするために、遺伝子やタンパク質の機能予測技術の開発を行う。

#### 1-(3)-① 配列情報と分子構造情報を用いた創薬支援技術開発

#### [中期計画]

・遺伝子やタンパク質の機能予測及び特定のタンパク質や糖鎖と相互作用する化合物の探索等、膨大な化合物の中から従来の5倍程度の効率で医薬品候補を選び出すことのできる技術を開発する。

#### [中期実績]

・疾患に伴う糖鎖変化を指標とする糖鎖バイオマーカーを、当研究センターが提唱した開発戦略に則って、探索、検証を進めた。具体的には、肝細胞がんやこれに関連する肝疾患、卵巣がん及び肺がん等のバイオマーカーを見出した。有望な候補タンパク質については、抗体、レクチンをプローブとしたアッセイ系を構築し、臨床的有效性を検証した。さらに糖鎖マーカー開発を効率化するための技術を改善、発展させた。

・ノロウイルスキャプシドタンパク質と血液型糖鎖抗原との複合体の結晶構造解析、プローブレクチンと糖鎖との複合体の立体構造解析、プローブレクチンの新規構造解析を行った。プローブに対する結合力の評価や改善を論理的かつ正確に高効率に行うために、糖鎖とタンパク質との弱い相互作用を定量的に評価するためにQM/MM法を核としたエネルギー計算の方法論を確立した。

・創薬等支援基盤技術プラットフォーム事業において、15件の創薬支援研究を実施した。分子シミュレーションを中心にタンパク質-タンパク質阻害剤の作用メカニズムの解明から抗体ペプチドの低分子化など、幅広い支援課題に対応できた。また民間企業9社との資金提供型共同研究、3社の産総研技術研修制度における技術指導を行った。毎年、創薬インフォマティクス技術者養成コースを6コース開催し、人材養成活動にも取り組んだ。高度化研究では、創薬ターゲットであるGPCRに特化した高精度モデリング手法の開発、RNA-RNA複合体予測システムの開発を達成した。また「京」計算機を用いた創薬研究では、国内のプロジェクトに参画し、分子動力学計算による高精度相互作用予測法の「京」計算機への実装と検証を行い、創薬支援ツールとして完成させた。

・創薬や個人化医療に向けた次世代シーケンサー支援技術開発として高速、高精度なゲノムアラインメントソフトウェアLASTの開発、大量のリード配列を高速にクラスタリングする技術SLIDESORTの開発、次世代シーケンサー誤読の影響を軽減する配列度数修正法RECOUNTの改良を行った。そして、この改良型RECOUNTを用いて、RNASeq解析データへの応用を行い修正結果を公開した。さらに、ゲノム比較のために、suffix arrayとよばれるデータ構造を高速に構築できるアルゴリズムを改良し、高速かつ高感度なread mapping手法の開発、ゲノム配列比較の感度を向上させる技術の開発、フレームシフト検出の新手法の開発を行った。また、エピゲノムデータベースの構築と高性能なDNAメチル化測定実験データの解析手法を開発し、これらを用いたDNAメチル化変化の情報解析により、新規の脂肪細胞の分化制御機構を発見した。

・大量な機能未知タンパク質に対し、これまでに培ったアミノ酸配列解析技術(タンパク質局在予測等)を応用した機能アノテーションを行い、共同研究を通じた検証を行った結果、タンパク質の新規核内移行シグナル候補を発見した。その後、本研究で発見したミトソーム膜タンパク質がβ型外膜タンパク質であることを特定し、



C 末端に膜挿入に重要な配列を持つこともわかったことから、この特徴を予測に用いる特徴量群に加えることで、ミトソーム  $\beta$  型膜タンパク質予測技術の開発にも成功した。また、高精度な局在予測や切断部位予測など、新規な配列解析技術の開発に成功し、この技術を用いた赤痢アメーバのゲノム解析を行った結果、新規外膜タンパク質の候補を同定した。この様に開発したタンパク質の核外移行シグナル・データベースと予測サーバ(ValidNESs)をウェブにて公開した。

・1)新規な遺伝子発現制御や細胞内構造構築に関わるヒト機能性 RNA について、相互作用タンパク質の同定、作用メカニズムの解明、標的遺伝子の同定を行った。ヒストンローカス体、パラスペックル、スペックルに含まれる機能性 RNA、U7-snRNA、MENe/b(NEAT1)、MENa(Malat1/NEAT2)は、それぞれが特異的な転写／転写後段階のエピゲノム制御に関連する新しい制御機能を担うことを見出した。またその制御に関与する RNA 結合性タンパク質(疾患関連因子を含む)も同定した。さらに筋萎縮性側索硬化症(ALS)患者では、異常な NEAT1 発現に伴う構造体が形成され ALS タンパク質が係留されることを検出した。2)機能性 RNA (tRNA) の機能に必要な硫黄修飾塩基の生合成機構の解明を行った。生合成酵素(硫黄化酵素)について、立体構造に基づいた試験管内での定量的解析、補欠分子族の分光解析等を行い、新規な反応機構を提案した。また生合成関連タンパク質は翻訳後修飾因子としても働き、硫黄化酵素の活性中心を修飾していた。真正細菌では初めての発見であり、新規な反応制御機構と考えられる。

・1)製薬企業由来の化合物の薬理薬効メカニズム解明のためにタンパク質-化合物相互作用解析、タンパク質-タンパク質相互作用解析、リン酸化変動解析および発現変動解析といったような質量分析用サンプルの前処理工程をロボット化することに成功した。さらに、実際のサンプルを用いて各サンプルを調製し質量分析計により検証を行った結果、高い精度と再現性でサンプルを調製することが可能であることが確認できた。

2)製薬企業 7 社との実証研究を実施し、上記のような解析用のサンプルをロボットにより調製することにより、2 化合物の薬理薬効メカニズムを解明するとともに、3 化合物の分子標的を決定し、メカニズム解明のための検証研究を開始した。

・1)代表的な創薬標的: G タンパク結合受容体に対する薬物ドッキング法を開発し、多数の活性化化合物、3 種類のリード化合物を創成した。薬物活性推算法を開発して従来の活性推定誤差を半減し、医薬品候補物質の選出効率を 2 倍にした。分子設計での化合物の選択性を副作用が低減する薬らしさの指標として見出し、分子の合成可否を判定する手法を開発した。

2)X 線結晶構造解析により、遺伝子の読み出し・格納に必須な数種類のヒストンシャペロン群の構造決定を行い、遺伝子複製の機構を解明した。ピロリ菌の発癌性を担うタンパク質 CagA の立体構造を決定し、天然変性領域の構造変化が発癌性を担う事を解明した。

3)NMR 測定法を高精度化し、化合物-タンパク質結合面同定や複合体構造予測を行う手法を開発し、多剤耐性タンパク質の薬物直接結合とアロステリック構造変化を峻別した。また従来扱えなかった高分子量タンパク質を NMR 観測する手法、タンパク質-化合物相互作用を NMR と計算の融合で迅速に複合体構造予測する技術を開発した。さらに薬物結合時の各部位の運動変化を NMR 法により定量し構造エントロピーを算出する手法を開発した。

・加速進化型の生理活性ペプチドの分子骨格を鋳型とするペプチドライブラリが、多様な標的分子を特異的に認識する高いポテンシャルを有することを実証した。即ち、その遺伝子が加速進化を示す蛇毒の神経毒ペプチドを鋳型とした 3 本指型分子骨格のランダムペプチドライブラリからは、試験管内進化によりインターロイキン 6 受容体、ニコチン性アセチルコリン受容体、トリプシン等に対して特異的に結合し、且つそれらの生理生化学的機能を修飾する活性を持つペプチドを単離・同定することに成功した。さらに、クモ毒の神経毒ペプチドを鋳型とするランダムペプチドライブラリからは、新たに開発した膜タンパク質を標的とする試験管内進化技術により、ムスカリン性アセチルコリン受容体のサブタイプを認識するペプチドを単離するに到った。以上のように、抗体医薬に代替する中分子創薬開発の基盤となる試験管内進化技術を確立した。

### 1-(3)-② システム生物学的解析を用いた創薬基盤技術の開発

#### [中期計画]

・転写制御、シグナル伝達、代謝に代表される、細胞内のネットワーク、パスウェイ等の推定やシミュレーションにより、創薬に必要な化合物の設計と合成、標的分子を推定する技術を開発する。

#### [中期実績]

・細胞内のネットワーク、パスウェイ等の解析にもとづく創薬標的分子推定に資する関連技術の開発を行った。

具体的には、個人差に依存する薬剤誘導性副作用を予測するためのバイオマーカーを同定するために、ヒト正常肝臓細胞の細胞内グルタチオン濃度を指標にした遺伝子機能スクリーニングプロトコルの開発に成功した。開発した手法を活用して、薬剤性肝毒性と一塩基多型 (SNPs) との関係を解析することを可能とした。また、エンドユーザーが使える肝細胞用遺伝子導入アレイ試作の試作を完了し、その使用法に関して、Methods in Molecular Biology 等の学術図書にプロトコルを発表した。企業コンソーシアム等で試作品の事業化について検討し、ユーザへの試供を進めた。

- ・産業的に重要な糸状菌の二次代謝について、高速ゲノム解析、転写発現解析、情報解析などの高度な連携解析を実現するシステムを開発することにより、大規模なゲノム情報を基盤として、正確な生合成遺伝子の予測と迅速に高生産を実現する基盤技術を開発した。これらの解析技術を用いることにより、糸状菌の新規なペプチド性低分子化合物の生合成経路である RiPS を発見し、生合成パスウェイの正確な予測を行うとともに、多数の遺伝子破壊・変異株を作製して実証した。また、産業界が着目する複数の化合物についても、生産する糸状菌のゲノム解析と遺伝子発現解析の結果から生合成遺伝子を推定し、遺伝子破壊などによって実証した。さらに、転写制御因子の強発現による生産性の向上、生産性が向上した状態での遺伝子発現の解析等から、さらに生産性を向上させるための遺伝子の予測を行った。

- ・計算システム生物学におけるネットワーク解析技術を中心とした基盤技術を開発すると共に、その基盤技術を活用したオミックスデータ解析から表現型変化の要因となる分子の絞り込みを行った。実験研究者との共同研究による絞り込んだ表現型変化要因分子の実験検証を行い、基盤技術の有用性・実用性を証明することができた。さらに、これら基盤技術とその適用経験に基づき、オミックスデータを利用した新薬開発技術の開発及びその適用に研究対象を進めた。医療機関及び製薬企業との共同研究を実施し、臨床情報とオミックスデータの融合により、臨床治験後期及び承認申請時に有用な患者層別化マーカー探索技術を開発した。

- ・環境物質の細胞への影響を遺伝子ネットワークレベルで表現する手法の開発を行った。具体的には、環境物質暴露実験の遺伝子発現データから局所的な遺伝子ネットワークを求め、さらに大域的な遺伝子ネットワークを推定する手法を開発し、従来よりも高速に確度の高い遺伝子ネットワークを予測する方法の開発に成功した。さらに、ES 細胞を用いた毒性試験プロトコルを構築し、様々なネットワーク推定法と機械学習の手法を組み合わせることで高性能な環境毒性の予測法を開発した。

- ・開発したエストロゲン活性評価用 DNA チップを用いて様々な化学物質や健康食品素材の解析を行い、細胞増殖活性を示さないがエストロゲン様の遺伝子発現プロファイルを示す新しい化学物質のグループを見出し、「サイレントエストロゲン」と命名した。さらに、サイレントエストロゲンの作用について、受容体間のクロストークを含めた細胞内シグナル伝達経路を明らかにした。また、これらの一群の化学物質について、エストロゲン製剤や機能性食品への利用について提言を行った。

### 1-(3)-③ バイオデータベース整備と利用技術の開発

#### [中期計画]

- ・遺伝子や生体分子に関する情報の高度な利用を促進する情報データベースやポータルサイト等を構築する。また、ヒトの遺伝子、RNA、タンパク質、糖鎖情報等の整備及び統合を行うとともに、診断技術等の利用技術を開発する。

#### [中期実績]

- ・糖タンパク質上の糖鎖構造は多様かつ不均一なため、構造解析が困難で、その実態が不明確であり、このことが、機能との相関分析を困難にさせている。そこで糖鎖修飾の実態を解明、データベース化して、糖鎖バイオマーカー開発を加速することを目的に、糖鎖不均一性解析法を開発した。質量分析法と糖鎖の構造的特性を利用した解析プログラムを作成し、バイオマーカーの構造検証や糖鎖生物学的解明に適用できるようになった。

- ・国内に散在する糖鎖科学関連データベースを統合し、この分野の発展を促進することを目的に、糖鎖の表記法を始めとする情報技術を開発し、日本糖鎖科学データベース JCGGDB を構築、公開した。アジア各国の研究者と連携し、この DB を拡張し、さらに欧米の基幹 DB と連携させた。この利便性を高めるため、糖鎖表記の国際標準化を進め、平行してセマンティックウェブ化、糖鎖レポジトリシステムの構築を進めた。また、この DB の一部を構成する GlycoProtDB に大規模な研究結果を掲載し、公開した。

- ・1)オミックスデータ解析として、多層的疾患オミックス解析に基づく創薬標的の網羅的探索プロジェクトに参加し、がん関連(乳がん、肺がん、腎がん)、狭窄症、拡張型心筋症などの臨床データの解析を実施した。

2)次世代型情報解析技術の開発として、ワークフロー技術を駆使し transcriptome、methylome、proteome 解析を可能とする解析基盤の構築を行った。また新規にドラッグ・リポジショニングや疾患の層別化・回復率に関する技術開発を行った。

3)ユニット内で計測されたタンパク質間相互作用データやタンパク質アレイ情報 (Protein Active Array) と既存の NCBI、EBI、PDB 情報等との連携をセマンティック技術により行い、大規模データを用いた知的基盤を構築した。

・医薬品開発のための情報処理技術の基盤技術として、バイオデータベースの利用に関する暗号理論を用いた情報保護技術の開発を行った。暗号演算部分の高速実装を完成させ、数百万件の化学分子データベースである PubChem に本手法を適用し、実用的な検索システムを作り上げた。さらに、これまでに進めてきた化合物データベースの類似検索について、ゼロ知識証明も併せてセキュリティ性能を高めた。また、RISEC と共同で、データベースの範囲指定検索の理論構築を行った。また、遺伝多型 DB に対する秘匿検索技術を考案し、デモソフトウェアを開発した。さらに機能を高めたアルゴリズムを考案した。

・ヒト転写産物の網羅的な解析に基づき、ヒト遺伝子統合データベース H-InvDB の構築と運営を継続的に実施した。特に、H-InvDB にゲノム多様性やプロテオーム解析情報等を追加、公開するための計算機解析を実施し、疾患遺伝子候補や創薬ターゲット候補の探索空間としての利用価値を高めた。また、独立行政法人科学技術振興機構に設置されたバイオサイエンスデータベースセンターNBDC を中核とした国全体のライフサイエンス分野の統合データベースを構築するため、経済産業省の分担業務であるポータル構築連携、横断検索連携、アーカイブ構築連携を行った。具体的には、経産省ライフサイエンス統合データベースポータルサイト MEDALS を継続的に改良しつつ運営し、データベースやソフトウェア等の成果物に関する情報発信を行った。

## 2. 健康な生き方を実現する技術の開発

### [中期目標]

心身共に健康な社会生活を実現するための基盤となる人の生理、心理及び行動の測定技術、生体情報の計測技術及び評価技術並びにそれぞれの人の健康状態に合わせた社会生活を実現するための支援技術の開発を行う。

### [中期計画]

心身ともに健康な社会生活を実現するために、高齢者のケア、健康の維持増進、社会不安による心の問題の解決等の観点から健康な生き方に必要な開発課題に取り組む。具体的には、ストレス等を含む心身の健康状態を定量的に計測する技術の開発を行う。また、その計測結果に基づいて、個人に適した治療やリハビリテーションによる健康の回復、維持増進を支援する技術の開発を行う。

### 2-(1) 人の機能と活動の高度計測技術

#### [中期目標]

人の健康状態を把握するための基盤となる生理、心理及び行動の測定技術並びに測定装置の開発を行うとともに、標準化に取り組む。

#### [中期計画]

個人の状況に応じて心身共に健康な生活を実現するために、人の心と行動を理解し、健康生活へと応用することが必要である。そのために脳神経機能及び認知行動の計測技術、人の生理、心理及び行動の予測に資する技術の開発を行う。また、高齢者や障害者の生理、心理及び行動データを基にした、安全性や快適性の確立に資する標準化活動を行う。特に、空間分解能を維持しつつ、ミリ秒オーダーの時間分解能で脳神経活動を計測する技術の開発を行う。

#### 2-(1)-① 脳神経機能及び認知行動の計測技術の開発と人間の心と行動の理解、モデル化、予測技術の開発

#### [中期計画]

・脳神経機能と認知活動に関して、空間分解能を維持した状態でミリ秒オーダーの時間分解能の実現による

脳の領域間の相互作用の評価等を非(低)侵襲、高解像度で計測する技術を開発する。また、得られたデータから人の認知処理容量の定量化や機器操作への適応等心理状態、認知行動を評価及び予測するモデルを開発する。

[中期実績]

・計測原理の異なる複数の脳活動計測方法(脳波、脳磁界計測、機能的 MRI)で得られるデータを組み合わせ、非侵襲的にミリメートルオーダーの空間分解能かつミリ秒オーダーの時間分解能で脳活動ダイナミクスを可視化可能な技術を開発した。また、時系列データの因果関係を解析するモデルの導入により、活動が観察された脳領域間における神経信号の相互作用を定量的に評価可能な技術を開発した。これらの技術を、高次視覚処理遂行中に計測した脳活動データに適用することにより、後頭部高次視覚野と空間処理を担う上頭頂部との間の神経信号の流れを定量的に評価することが可能であることを、実データを用いて示すことに成功した。また、視線による非言語的なコミュニケーションで、他者認識に関わる前頭部と頭頂部の部位間の連携を、このような技術を用いて定量的に解析できることを示した。

・脳神経機能と認知活動を非(低)侵襲、高解像度で計測する技術として、脳全体の酸素代謝を推定するために必要な複数の計測モダリティを相互補完的に併用する、生体物理・生理特性計測技術を開発した。その結果、頸部静脈血の計測による推定において、近赤外光による酸素化度計測と超音波による血流計測を一体化させた、一体型複合計測プローブのプロトタイプを設計、完成させた。単独モダリティごとの計測に比較し、超音波画像に基づいた光伝搬経路の確認や修正を可能とし、より高精度な計測を実現した。また、身体運動を伴う生活環境での計測により適合させるため、経頭蓋による後頭部静脈血計測による推定方法を考案し、性能実証を進めた。その結果、計測中の生体とのインターフェイス及び光路の変動に対する技術的改良を加えることで、さらなる精度向上、そして実用化をはかれることを確認した。

・人の認知処理容量の定量化や機器操作への適応等に関して、自動車運転課題を対象に、ドライバーの認知特性と行動データの分析を実施して次の結果を得た。ドライバーの認知機能の経時変化を加齢検査法によって調べ、認知機能の衰え方の違いによる行動変化の特徴から動的調節能力の経年変化をモデル化し、これから追従タスクのディマンド特性を推定するとともに、タスク行動から認知的パフォーマンスを推定する手法を開発した。環境要因によるタスクの負荷量をリアルタイムに定量化する手法を開発し、異なる環境による視覚的ディマンドの定量化に成功した。また、心的モデルと外界視覚情報のミスマッチが発生した場合に特徴的に現れる脳波成分を特定し、作業者の操作意図と心的モデルの更新の関係について明らかにした。さらに、運転タスクにおける行動成績が、視空間認知課題の行動成績と脳活動計測結果から予測可能であることを示した。

・物理的には同じ視覚情報でも、状況や要求に応じて脳が異なる判断をしていることを、適応モデル動物を用いて行動学的に確認した。モデル動物の脳からミリ秒の時間分解能で単一神経細胞活動を記録することにより、内側側頭皮質で記憶に基づいて視覚情報が修飾されること、ある事柄について、異なる状況の下では異なる意味として柔軟に認識するための神経活動が嗅周囲皮質に存在すること、視覚刺激の曖昧さと主観的な確からしさに応じた神経活動が視床枕に存在すること、カテゴリー知覚の確信度は、計算論的に感覚信号と内的ノルムの距離に相当することを発見した。また、感覚・運動制御メカニズムの研究から、学習による運動の変化は大脳皮質の神経活動では説明できないこと、外界にある沢山の情報の中から、我々の生存にとって重要な情報を取捨選択・統合し、適切な運動を生じさせる脳内メカニズムに尾状核尾部が関与することを発見した。適応モデル動物と脳神経活動を高解像度で計測する技術を用い、脳の視覚的認知メカニズムや感覚情報統合・分離の階層的メカニズムの全体像の解明を進めた。

・脳神経機能と認知活動を非(低)侵襲、高解像度で計測する技術として、近赤外脳機能計測の妨げになっているプローブ接触の不安定性や皮膚血流変動による影響を除去する様々な技術を開発に成功した。プローブ接触の安定化については、二層構造を持った高安定化プローブホルダや二股プローブを用いた高密度計測システム、毛髪雑音の影響を軽減する手法を開発した。さらに装着不良プローブをピンポイントに検出可能な手法、皮膚血流変動による計測への影響を除去する血流動態分離法を提案した。特に血流動態分離法は、プローブ多重配置法に比較して特殊なハードウェアを必要とせず、少ないプローブ数で実現可能であり広い適用可能性を持つ。市販携帯型 fNIRS 装置上で本手法を実装し、実験によりプローブ多重配置法に対する有効性を示した。

・心理状態、認知行動を評価及び予測するモデルに関しては、これを構築するために大量データからの機械学習・データマイニングアルゴリズムの構築を行った。情報幾何学に基づいて、高次元の計測データの次元圧縮とクラスタリングを同時に行うことにより本質的な情報を抽出する手法や、複数の変数間の依存関係を抽

出す手法の開発に成功した。また画像から GPU を用いて高速にペアワイズな特徴量を抽出したり、得られた特徴から外界の情報(路面や車両、形の変化する人間の体など)を認識するパターン認識やトラッキングの手法を開発した。さらに、人間の認知機能を数理的に明らかにするためにカテゴリー理論(圏論)を用いたアプローチで種々の認知機能が統一的に説明できることが分かってきた。一方、インターネットにおける検索行動や購買行動に関するモデル化において、システム側がバイアスをかけてしまう問題を発見し、それを避けるための公正配慮型学習という機械学習の新たな枠組みを考案した。

## 2-(1)-② 日常生活における人間の生理、心理及び行動の統合的計測と健康生活への応用技術開発とその国際標準化 (IV-3-(1)-③へ再掲)

### [中期計画]

・日常生活における高齢者、障害者、健常者等の人間の生理、心理及び行動情報を計測し、健康及び安全状態を時系列で定量的に評価する技術を開発する。低視力者、聴覚障害者や高齢者を対象にデータの蓄積を行い、新たに5件程度の ISO 提案を目指した標準化活動を行う。

### [中期実績]

・視覚、聴覚に関する6件の ISO 等国际標準提案を行った。また、アクセシブルデザイン技術に関して本中期計画期間内に4件の ISO 規格を発行し、3件の国際審議を提案・開始、2件の TR(技術報告書)の審議を継続、4件の国際規格化提案の準備を進めた。それら国際規格に対応する JIS(日本工業規格)の制定も平行して実施した。さらに、「高齢者・障害者の感覚特性データベース」を構築し、ISO 規格及び JIS として発行された規格の背景データ及び活用ツールを公開した。プレスリリース等を通してPRに努めた結果、アクセシブルデザイン技術の活用に関心のある企業から大きな反響があり、新たな共同研究の開始や新製品の開発につながる成果を挙げることができた。この他、映像の生体安全性に関して3件の ISO 他国際規格を提案した。

・視覚、聴覚に関する6件の ISO 等国际標準提案を行った。また、映像の生体安全性に関して3件の ISO 他国際規格を提案した。光感受性発作の低減に関する国際規格化(9241-391)および立体映像の生体影響低減に関する国際規格案(9241-392)に関しては、本中期計画期間内に新業務項目提案(NWIP)から最終投票承認に至り、国際規格(IS)発行の見込みである。さらに国際照明委員会(CIE)では、第1部会(Division 1)での TC1-67 において、光感受性発作に関する技術報告書を提案し、投票開始に至った。この他、アクセシブルデザイン技術に関する3件の ISO 提案を行った。

・健康及び安全状態を時系列で定量的に評価する技術として、人間の行動情報等に関する多元的な計測データに基づいて、日常生活の健康・安全状態やタスクの困難さなど人間行動の特徴を示す指標を開発し、その指標により加齢と認知機能の関係を明らかにした。さらにタスクの困難さと認知的機能の低下の関係を機能ごとに明らかにし、それぞれの機能低下に合わせたタスク負荷の低減方法を明らかにした。それらの結果からタスクディマンドに応じて必要となる認知資源配分や遂行能力を明らかにした。具体的には自動車運転中の環境要因によるディマンド等、タスクの負荷量をリアルタイムに定量化する手法を開発し、異なる環境による視覚的ディマンドの定量化に成功した。

## 2-(2) 生体情報に基づく健康状態の評価技術

### [中期目標]

人の健康状態を評価するための生体情報の計測及び評価技術の開発を行うとともに、標準化に向けてデータベースを構築する。

### [中期計画]

個人の健康状態を評価するために、環境要因、ストレス等を含む心身の健康状態の定量的な計測が必要である。そのため、生体及び心の健康状態に関する分子レベルの指標の開発、標準化に向けたデータベース構築のための健康情報の収集、周辺環境モニタリングも含めた健康情報を管理及び評価するためのシステムの開発を行う。

### 2-(2)-① 分子計測による心身の健康状態のモニタリング、管理技術の開発

#### [中期計画]

・身体的健康状態又は鬱、ストレス、睡眠障害等の精神的健康状態を尿、血液、唾液等の生体試料を用いて簡便かつ迅速に検知し、時系列情報として管理できるデバイスや5個程度のバイオマーカー候補を開発する。

#### [中期実績]

・睡眠障害や関連する精神疾患の発症メカニズムの解明を目指してストレス性睡眠障害モデルマウスの開発を行った。本モデルマウスを用いて乳酸菌 SBL88 による睡眠障害の改善効果を発見した。睡眠障害の診断を目指したバイオマーカーの開発において、血中アミノ酸プロファイルが睡眠障害によって大きく影響を受ける可能性を示した。培養神経細胞を用いた生体リズムモニタリングシステムを開発し、体内時計に作用する複数の天然化合物の同定に成功した。ステロイド性筋萎縮の改善を目指した時間治療の可能性を動物実験によって検討し、投与時刻の工夫による副作用の軽減効果を示した。明暗サイクルの乱れは、末梢時計の乱れを引き起こして糖尿病のリスクを増加させることを発見した。長期的な運動習慣によって体内時計が朝型化することを発見した。全粒粉に含まれる小麦ポリフェノールが高脂肪食摂取によるインスリン抵抗性を改善して肥満を抑制し、行動リズムも正常化することを発見した。

・リンパ球および脂肪細胞を用いた抗炎症マーカーおよび善玉サイトカインマーカーを指標とし、抗肥満作用をもつ可能性のある食用植物由来の天然化合物 8 種を単離同定した。また、これらの物質が抗炎症作用のみならず、サーカディアンリズムに影響を及ぼす事も見出し、体内リズム調整剤としての可能性を示唆した。さらに地域特異な海産物や農産物、その発酵産物などを用いて、血圧低下を示すペプチドの探索を進め、発酵食品抽出に含まれる有効ペプチドの同定に成功した。

・1)タンパク質のゲル電気泳動染色に用いる蛍光分子プローブの更なる高感度化を目的として、シアノピラニル基とメロシアニン構造を併せ持つ新規蛍光分析試薬を系統的に設計・合成し、評価をした。その結果、試薬単独では蛍光を発さないが、試薬とBSAを室温で混合すると、瞬時に強い蛍光が観察された。BSA濃度と蛍光強度は、良好な直線関係が得られ( $r_2 > 0.998$ )、検出限界は 50ng/mL であった。また、さらに、SDS-PAGE の染色剤として評価したところ、0.04ng のタンパク質を検出することに成功した。

2)民間企業と共同で新規に開発した固相抽出カラムを用いた生体試料前処理法を用い、血清中の酸化ストレスマーカー8-OHdG、8-OHG を高感度に検出することに成功した。具体的には、本前処理法を用いることにより、健常者血液中(血清、血漿)の8-OHdGを5~70pg/mL、8-OHGを0.6~20ng/mLの範囲で測定できることがわかった。さらに HPLC-ECD 条件の最適化によって、8-OHdG と 8-OHG を十分に分離することが可能であり、同時に測定出来ることを示した。

・マイクロ流路を有するプラスチックチップを用いたマルチマーカー検出における高感度化と測定ばらつきの抑制が当初の主な研究目的であったが、レーザ表面処理の導入、処理条件の適正化、インクジェット法における抗体固定化量の計測/適正化により、これらの目標を達成した。加えて、紙・フィルム・テープの特長を組み合わせた新しいマーカー測定チップの開発にも成功した。紙・フィルム・テープチップでは1ステップでアディポネクチンの検出を実現するとともに、血液サンプルを用いた場合でも検出信号と濃度との間に良好な相関があることを確認した。さらに、これらのチップによる測定の自動化に向けてサンプルや試薬を自動滴下させるピペッティング部の試作にも取り組んだ。

・II 型糖尿病の早期診断さらには発症予知を可能とするため、網羅的かつ経時的な各種アディポカインの定量検出系の構築を行った。微細化インクジェットによるピコリッター単位の極微量溶液のハンドリング技術を利用して、環状ポリオレフィン基板上に形成したマイクロ流路を利用したマイクロ空間での抗原抗体反応系を構築することで、既存96穴プレートを利用したサンドイッチELISA法に比較して迅速・省サンプルかつ高感度な血液中タンパク質の定量検出が可能になった。この微細化インクジェットを用いたマイクロ流路での抗原抗体反応系を基盤技術として、糖代謝に深く関与するアディポカインのうち、数 pg/ml と極微量しか血液中に存在しない炎症性サイトカインでもある IL-6 および TNF- $\alpha$ 、数 ng/ml 単位のレプチン、さらに血液中に  $\mu$ g/ml と高濃度に存在する高感度 CRP まで幅広い濃度域での 4 種類の迅速・高感度・省サンプルなオンチップ定量検出系の構築に成功した。本技術を用いて経口グルコース負荷試験時の系時的なマーカー発現の変化を測定した。

・遠心力送液型ラボディスクの開発では軟質プラスチックによるプロトタイプディスクを用いて、流路設計と表面洗浄方法を確立した。またラボディスクの大量製造に必須である硬質樹脂製ディスクの射出成形での製造を達成した。また射出成形で作製したラボディスクにバイオマーカー測定部を嵌合し、当該デバイスを用いた遠心送液によって一種類のバイオマーカー測定が可能なることを実証した。機器開発では企業連携により遠心

送液テストが可能な一次プロトタイプ装置を完成し、これに化学発光測定のための CCD カメラを装着した。また、100 検体以上の緊張被験者実験により、電子体温計型全唾液 NO 代謝物プロトタイプチェック法による緊張ストレス計測の可能性を実証した。

・第 3 期を通してヒト由来試料を用いた酸化ストレスマーカーの解析を行い、糖尿病、肝疾患、慢性疲労症候群、パーキンソン病等における酸化ストレスマーカーの有用性を確認した。糖尿病に関しては、境界型糖尿病段階で変動するリノール酸由来酸化物を同定し、他のバイオマーカーとの併用による新規糖尿病早期診断手法の構築を行った。また、セレン含有蛋白合成障害における脂質酸化物変動および抗酸化物質投与効果に関して解析を進めた。精神的なストレスに伴う酸化ストレスの評価に関しては、動物実験で有用性の高い酸化ストレスマーカーを見出し、同脂質酸化物のストレスにおける生理的意義の解析を行った。さらに、疲労と酸化ストレスに関するヒト検証試験を行った。また、企業との共同研究にて抗ストレス機能を持つビタミン類の評価を行った。

・コラーゲンを細胞の三次元培養法や細胞膜に親和性を有する試薬を用いた浮遊細胞の固定化技術を利用して、間質線維芽細胞や単球などの間質細胞とがん細胞を共培養するための培養システムを構築した。本共培養系を用いて、間質線維芽細胞が抗がん剤の殺細胞効果を弱めること、および、単球が抗がん剤のプロドラッグの殺細胞効果を強めることを明らかにした。また、アルブミンを原料として、架橋処理を施して作製したフィルムに、活性を損なうことなく酵素や抗体を組み入れる方法を確立することに成功した。さらに、企業と連携し、細胞培養、試験物質への暴露、及び、細胞応答の検出までを微小チップ上にて全自動で実施できる装置の開発に成功した。

・血中および脳の双方に存在する分子群の中から健康脳および疾患脳のバイオマーカーに関する迅速測定系を確立した。この原理に SPF(表面プラズモン励起増強蛍光)を導入し、nM オーダーの検出感度、15 分以内の迅速測定系により高感度かつ迅速な診断技術に改良し、国内企業とのうつ病診断機器プロトタイプを開発し、臨床現場での仕様検証を進めた。消化器内科との共同研究においては、我々のうつ病診断系は治療薬副作用によるうつ病発症診断系にしようできることを見出した。最終年度は、臨床試料を用いた収集されたデータの臨床医学的統計解析を行い PTSD とバイオマーカーの関係については、PTSD 重度の変動と proBDNF の血中濃度の変動との関係が明らかとなった。

・身体的健康状態又は精神的健康状態を簡便かつ迅速に検知する発光プローブ技術開発の基礎として、鬱・ストレス・睡眠障害等の原因となりうる生体リズム異常を解析する実験系、遺伝子損傷検出系、in vivo がんマーカー検出系、ウイルス検出系の開発などに取り組んだ。この結果、発光プローブによる組織レベル実験システムで 2 種の時計遺伝子の発現変動を 7 日間以上に渡り同時検出できること、外部励起光不要の化学励起蛍光(BAF)プローブで培養細胞の DNA 損傷感知蛋白質の動態と細胞内局在を 7 時間以上連続観察できることを示し、時系列情報を得る発光プローブ技術を開発した。動物体内のがん組織可視化用の新規なルシフェラーゼ・量子ドット発光プローブやウイルス検出用プローブや血中ホモシステインアッセイ系など、合計 6 種の発光プローブと 1 種の実験システムおよび DNA 脱メチル化を検知できる試薬 1 種を開発し、1 種のデバイスの開発に貢献した。

・抗酸化タンパク質としてチオールペルオキシダーゼ(TPx)とスーパーオキシドディスムターゼ(SOD)をターゲットとして構造機能解析を行った。TPx では、Pyrococcus horikoshii 由来ペルオキシレドキシシン(PhPrx)と Escherichia coli および Geobacillus kaustophilus 由来グルタチオンペルオキシダーゼの立体構造を明らかにした。PhPrx では結晶への過酸化水素添加にともなう構造変化を観測し、第 2 期に見出した超原子価中間体を經由する反応機構が特殊なものではなく古細菌 Prx 一般の性質であることを示唆した。SOD では、Aeropyrum pernix 由来 SOD (ApeSOD)の立体構造を明らかにし、金属補因子としてマンガンを使う場合と鉄を使う場合での酵素活性の違いを立体化学的に説明した。また、活性酸素種や水に含まれる水素原子の位置を特定するために必須の中性子結晶解析を可能にするために、ApeSOD の大型結晶を作製する方法を開発した。

・産学官連携によりラクダ科動物であるアルパカ 2 頭の飼育体制を確立し、さらに抗原免疫法、分子進化法や大規模塩基配列解析法を活用した抗体選別法、抗体調製法などの一連の抗体取得基盤技術を開発し、国内唯一の免疫によるラクダ科抗体取得体制構築を達成した。免疫用の抗原 10 種類を調製し、これをアルパカに免疫し、4 種類の抗原についてこれらに反応する抗体を取得した。他 4 種類の抗原について血清中の抗体力価の上昇を確認した。ラクダ科動物由来単ドメイン抗体のタンパク質工学的改良を行い抗体 2 種類について熱耐性の向上を達成、また 3 種類について薬剤の反応性向上をはかりうち 1 種類について薬剤と特異的かつ効率的に反応することを確かめた。

・前中期末に開発した独自のキメラ G タンパク質を含む 4 種遺伝子共発現による嗅覚受容体一過性発現 HEK293 細胞センサは、嗅覚受容細胞と同等の 1 原子長異なる匂い分子を識別できる分子識別能を有しており、これをアレイ化した疾病初期診断用の嗅覚代替センサの開発に取り組んだ。開始早々、4 種遺伝子を安定発現させる細胞株の開発が必要であることが明らかになり、まず人工ヒト染色体ベクターを用いた安定発現株の作製に取り組んだ。作製された安定発現株は凍結保存後にやや感度が低下する問題が明らかになったため、改善策を検討した。その結果、感度上昇を示す培養条件、共発現用 5 種目遺伝子が明らかとなり、大幅な性能改善が期待される 5 種遺伝子安定発現株作製作業を進めた。また、膀胱がん患者の抗生剤服用後の尿を希釈し潜血濃度を合わせた後、尿臭の相違を動物行動実験で評価した結果、識別可能であることが示唆された。さらに、背側受容体欠損による 2 組の鏡像異性体ペアに対する感度変化および識別能変化について既存の知見を刷新する結果を見出し、原因受容体を推定した。

・1)NMR を利用した混合物の直接解析法の基盤技 NMR-MP を深化させた。それをもとに医療・食品・農産物への応用化開発を行い、汎用化を進めた。2)開発技術(NMR-MP 法)を食品企業・製薬企業・大学との共同研究を通じて普及させた。3)唾液、血液、尿を利用した病態把握、健康状態把握を行い、異常値の判定から注目試料の存在を明らかにした。4)NMR-MP 法をもって農水省プロジェクトに参画、農産物の潜在的品質を見出すとともに、輸出品作物の評価技術へと展開した。5)乳牛の分娩後の回復状況の可視化評価技術の共同研究を行い、回復と泌乳に関する血液成分変動と病態を可視化評価へと展開を開始した。6)食品企業との共同研究が実を結び、NMR-MP 基本技術を企業内で発展させつつ、高カロリー食の一部魚食代替によるマウスへの健康効果を計測し確認した。さらに通常の食生活に魚缶詰を摂食するヒト実験の実施を指導監修し、肥満傾向であっても魚食による健康増進効果を確認できた。これにより、健康度を把握する技術として着実に応用範囲を増やすことが出来た。7)研究集会の実施や個別対応により企業・大学・国の研究機関への指導を行った。

## 2-(2)-② 健康リスクのモニタリング及び低減技術、健康維持技術と健康情報の管理及び活用技術の開発

### [中期計画]

・環境に存在する50種類以上の工業用ナノ粒子、微粒子等の健康阻害因子を高精度に計測及び評価し、因子の除去、又は健康への影響を効果的に低減するための技術を開発する。また、健康管理システムを構築するために、心と体の健康情報を長期的に収集及び評価する技術並びに健康逸脱状態を検出する技術を開発する。

### [中期実績]

・日常生活の中で収集される情報を含む健康情報の横断的な解析に向け、1)極微量の血液から内分泌系情報が得られるチップを供給すること、2)他の研究ユニットとの連携の下で産総研の健康診断情報を蓄積・データベース化すること、3)データ連係基盤技術を開発することが当初の目標であった。このうち、チップの供給については、製造プロセスの鍵となるインクジェット装置の信頼性向上に取り組みつつ、数百枚/年規模で試作・供給できる体制を整えた。また、産総研職員被験者の協力を得て OGTT(糖負荷試験)と連携可能なデータを 100 件以上含む、合計 300 件以上の健康診断情報の収集とデータベース化を行った。さらに IC カードを用いたデータも付けにも継続的に取り組んできた。

・50 種類以上の工業用ナノ粒子・微粒子について、ヒト細胞系を用いた in vitro アッセイ系を開発し、これを用いて有害性評価を終了した。有害性評価の遂行に際しては、細胞培養液中における安定したナノ粒子の分散法、及びナノ粒子の安定性評価法を確立すると共に、安定した培養液を用いて細胞毒性評価を実施し、評価手順書の作成を行った。工業用ナノ粒子・微粒子に関する有害性評価の知見や有害性評価手順書について、OECD 等の国際機関における、ナノ粒子の管理に関する議論に反映させるべく、複数の国際会議で公表した。

・感染症のその場遺伝子診断を可能とする超高速なマイクロ流体デバイス型 PCR について、空気中でセグメント化された試料プラグを連続した流路に一方通行で送液するタイプ及び短い流路を往復するタイプの装置の 2 種類を開発した。これらのデバイスを用いて、炭疽菌の毒素遺伝子の 5 分以内の迅速検知、炭疽菌芽胞の擬剤に対して大気捕集から検出まで 13 分を達成した。また、本デバイスを用いた食中毒菌ベロ毒素遺伝子、マイコプラズマの迅速検知について、標準試料により可能であることを確認し、膀胱がんマーカー、インフルエンザと結核については体液由来試料での測定が可能であることを明らかとした。またこれらに付随する基盤



技術として、アニーリング及び伸長反応を同時に行うことや流路への独自のコーティングを施し試料吸着を抑制する手法を開発し、高速化、高感度化を実現した。さらに本技術をシーズとしたベンチャー企業及び製品上市を達成した。

・ポリスチレン製マイクロチップ基板上に直径 105  $\mu\text{m}$ 、深さ 50  $\mu\text{m}$  のマイクロチャンバーを 20,944 個作成しアレイ上に配列した細胞チップを用いて、目的とする細胞を定量的に各チャンバーに単層配列し多重染色を行うことで、数百万個の細胞から標的とする細胞を一細胞レベルで検出する技術を開発した。スパイク実験では赤血球 200 万個に 1 個のマラリア原虫感染を検出し、循環がん細胞をモデルとした場合には EpCAM 発現に依存しない CTC 検出への応用性の高さを示した。それぞれ民間企業と資金提供型共同研究をすすめることで、アフリカなどマラリア流行域で使用可能なマラリア診断装置の開発と製品化、CTC では実際のがん患者血液を用いた特定のタンパク質発現に依存しない正確な CTC 検出が可能な細胞チップ技術を基盤とする CTC 検出デバイスの製品化研究を進めている。さらに、細胞チップからマイクロキャピラリーを用いて標的細胞を回収することで、一細胞 PCR による遺伝子解析により、マラリア原虫種の同定、がん細胞における mRNA 発現解析が可能になった。

・1) 健康への影響を効果的に低減するための技術として、飲料水中の硝酸イオン除去技術を開発すると共に、硝酸イオンセンサの開発も行い、FET 型イオン電極上に硝酸イオン選択性層状イオン交換体を複合化、硝酸イオンを 0.05mM まで可逆的・安定的に測定出来た。新規有害陰イオン捕捉材料の開発として、臭素酸イオンや過塩素酸イオンの除去材料も開発した。震災以降、セシウム除去材料の検討も行い、新規除去材料の開発にも成功した。

2) ナノカーボン分散化技術とその光発熱特性を利用し、有害微生物センサに必要なデバイス部分を設計、試作した。ナノカーボンの特性を活用し、新たな分子伝送システム及び機能性細胞を担体としたドラッグデリバリーに必須な生体内遺伝子発現制御システムの開発にも成功した。

3) 食品中の機能性成分について、「アンセリン」、「6-ジングロール」、「ノビレチンおよびタンゲレチン」、「アリイン」、「梅ポリフェノール」の分析法をフォーラム標準化した。

・メダカ個体を応用し、リスク化合物や化学受容関連物質等の評価系を検討・試作した。種々化合物に対する個体の感受性を毒性学的に検討し、高濃度では致死となる匂い物質を見出した。メダカ忌避行動による化合物反応評価系を作成し、匂い物質に対する反応を評価した。また、神経系可視化メダカを作製・応用し、化合物に対する反応が嗅覚に依存するか否かをレーザ破壊により確認した。神経細胞内 Ca 変動可視化メダカ系統を樹立し、in vivo イメージングにより嗅覚系の Ca 変動を検出した。マウス嗅覚受容体発現メダカを開発するため、適用プロモーターを探索、嗅上皮特異的発現活性を有するプロモーターを単離し、発現ベクター作成に応用した。また、メダカの脊髄損傷モデルを作成し、回復過程を行動学的に解析する系を確立した。回復過程における未分化細胞の動態を組織学的に解析し、更に、in vivo イメージングにより生きた個体での解析を可能にするメダカ系統を作成した。メダカの遊泳ビデオ画像から行動特性を定量化する実験系を確立し、メダカの脳を 3 次元的に可視化するための効果的なソフトウェアを開発した。

## 2-(3) 健康の回復と健康生活を実現する技術

### [中期目標]

人の健康状態に合わせた社会生活を実現するため、介護、医療等の負担の軽減、心身機能の回復、心身活動能力の補助のための技術の開発を行う。

### [中期計画]

健康な社会生活を実現するために、人の生理、心理及び行動や生体及び心の健康状態に関する指標に基づいて、失われた運動能力や認知能力を補い、個人の健康状態に適した暮らし方を支援する技術や、リハビリテーション等の健康回復、維持増進を支援するための技術の開発を行う。また、患者と医療従事者の負担を軽減するための技術開発を行う。

### 2-(3)-① 生体情報計測に基づく軽負荷医療及び遠隔医療支援技術の開発

#### [中期計画]

・患者と医療従事者の負担軽減を目的として、生体組織の物理的、生理的計測情報を高度に組み合わせ、計測時間の短縮や試料採取量を減らすことにより、低侵襲治療を支援する技術を開発する。また、先端的材料

技術や電子機械技術を融合し、手術手技研修システム技術を開発する。

[中期実績]

・エネルギー技術や半導体製造に関連した産総研のアドバンテージを生かした新しいバイオ・医療技術として、プラズマ止血デバイス・近赤外イメージング技術開発を先導し、その実用化と企業への技術移転を実現した。近赤外イメージングについては蛍光物質や発光物質を必要しない革新的なバイオイメージング技術であり、プラズマ止血デバイスは熱傷を伴わない理想的な低侵襲止血を実現するものである。

・低侵襲治療を支援する技術として、以下の開発を行った。生理的計測に適したMRIで物理情報(弾性)を取得するMRE(弾性画像法)では、加振とシーケンスとの同期にRF波を使用することでMRIを改造せずに臨床用MRIに実装方法を提案した。また、撮像時間短縮を目的とし、圧縮センシングを応用しファントムデータで検証した結果、従来の33%で十分な画像を再構成できた。投薬や生検ための穿刺を正確にするために穿刺の手応えをフィードバックする穿刺支援装置を研究を実施し、初めに人間工学実験により貫通穿刺の成功率が向上することを示した。その後、低価格でディスプレイに適した空気圧駆動によるプロトタイプを開発し、その実用性を示した。3次元印刷した患者モデルを用いた遠隔手術手技指導システムを開発し、手術室(患者)・ラボ(モデル)間と手術室内隣接型で実際の症例で有効性を確認した。これは術中にシミュレータ(患者モデル)で指導する新しい教育パラダイムの提案であり、医療現場でのOJTの安全性と効率向上に資するものと期待される。

## 2-(3)-② 身体生理機能や認知機能の理解に基づき心身機能を維持増進する技術や回復(リハビリテーション)する技術の開発

[中期計画]

・加齢に伴う知覚能力減退に起因する歩行困難等を緩和し、安心して生活できる社会を実現するために、認知及び運動の相互作用特性の計測、評価及びデータベースに基づいた視覚障害者に対する聴覚空間認知訓練システムを開発する。また、心身活動の維持に適合した製品や環境設計技術、心身活動の回復(リハビリテーション)や増進を支援する技術を開発する。

[中期実績]

・聴覚空間認知訓練システムにつき、開発・実用化した。これをナビゲーションやクラウド技術と組み合わせた次世代の視覚障害者支援システムとして構築する可能性を見出した。具体的には、3次元音響技術と広範囲測位技術を使った視覚障害者用の聴覚空間認知訓練システムを開発・実用化し、第3中期終了時点で、盲学校等約70件にシステムソフトウェアを無償配布した。またこの訓練システムは国立障害者リハビリテーションセンター学院の視覚障害生活訓練養成課程において教育用として実践しており、視覚障害者のリハビリテーションフタッフの養成に寄与した。さらにこの訓練システムをナビゲーションやクラウド技術と組み合わせた次世代の視覚障害者支援システムとして構築する可能性を検討した。準天頂測位衛星などの測位精度向上技術を導入し、視覚障害者のナビゲーションを用いた歩行訓練および歩行訓練成果評価技術を開発できる可能性を見出した。

・1)心身活動の維持に適合した製品や環境設計技術として、フルハイビジョンのサイドバイサイドによる立体映像を、全画素・全フレームにわたり解析評価する立体映像解析評価システムを構築した。

2)立体映像の生体影響に関するデータを追加することで、映像の生体安全性に関する観点から立体映像制作の支援を可能とするDBシステムを構築した。これらにより、映像の生体安全性に関する指針を普及させるための基盤構築を図った。

3)実生活場面において中高年者や高齢者を対象にした入浴や寝室の温熱環境が睡眠に及ぼす影響を評価する研究を通じて、環境制御等による睡眠改善の可能性を確認した。

4)裸体人体への伝熱経路が異なる暖房実験により、非暖房室の非許容温度範囲に及ぼす年齢の影響を明らかにした。これらにより、住環境における高齢者の安全で健康な生活のための温熱環境設計技術を開発した。

・1)心身活動の回復や増進については、運動習慣の精神ストレス時の血流応答に与える効果、一過性の「笑い」やフェイシャルマッサージの生理学的影響、下肢温熱刺激(足浴)による中高齢者の心臓圧負荷軽減を人間工学実験により定量的に明らかにした。

2)健康支援のための計測技術では、血圧計を利用して動脈硬化を簡便に評価できるヘルスケア機器を実用化レベルに高め、薬事法の承認と製品化を達成し、あわせて手掌脈波等を用いたシンプルな生体情報計測

ツールのための基盤技術を構築した。運動機能訓練と生活支援技術については、リハビリ用自転車のための関節運動を有効利用する駆動機構の設計と評価、パワーアシストのための水素吸蔵合金を用いたソフトアクチュエータの材料及び伸縮機構の開発、空港ゲートの金属探知機に検知されない非金属製車いすの実用化を行った。特に、非金属製車いすは、JIS 走行耐久性試験をクリアし、国内空港に配備され、グッドデザイン賞を受賞した。また、ロボットセラピー技術に関しては、アザラシ型ロボットを用いた介護施設等での調査及び評価を行い、その効用として認知症高齢者の問題行動を統計的に有意に改善することを明らかにした。

・心身活動の回復・増進を支援する技術を開発するために、実験動物として確立されているラットと、ヒトに近い脳および身体機能を持つサルをモデル動物とし、脳損傷後のリハビリ訓練による運動機能回復にともなう脳の変化を詳細に解析した。回復をもたらす脳の遺伝子発現から脳・神経活動に至るまでの変化を統合的に明らかにしたことは、新しい機能回復技術やリハビリ訓練の効果の評価技術の開発につながる重要な成果である。また、これまで以上に臨床の病態に近い、脳深部の内包に脳卒中を誘発する動物モデルを確立し特許出願を行った。このモデルを用いて、脳損傷後の機能回復を促進する薬剤の開発に対して協力をおこなった。また、臨床現場からの、リハビリ訓練が脳にどのような効果をもたらしていることが分かれば患者も医療従事者もリハビリを頑張ることが出来る、という要望に応え、医療従事者や医学部学生向けの研究会や臨床の学会において、リハビリ訓練がもたらす脳の変化に関する講演を数多く行った。

・歩行困難の緩和と心身活動の増進を支援するための歩行評価システムについて、転倒リスクと強く相関する歩行軌道のばらつきをカデータのみから計算し、そのばらつきが何歳相当であるかを評価して、提示するインタフェースを整備した。このシステムを東北地区、横浜地区のイベントで実地検証した結果、年齢相当の転倒リスク提示により、歩行軌道のばらつきが平均で5%低減する(有意差あり)ことが確認できた。さらに、膝関節の負担や内股歩きなどの歩行特徴を評価する技術を開発した。スマートフォン内蔵センサで歩行を計測し、画面に歩容を提示するインタフェースを整備した。このシステムを2ヶ月、50名のユーザに試用させ、歩行評価結果の提示に関心があることをアンケート調査により検証した。

## 2-(3)-③ 人間の心身活動能力を補い社会参画を支援するためのインターフェース等の技術開発

### [中期計画]

・現状の運動能力や認知能力を補い高齢者、障害者、健常者等のより高度な社会参画を可能にする技術(従来の2倍以上の意思伝達効率のブレインマシンインターフェースや、柔軟で1V程度の低電圧駆動が可能な運動アシスト機器等)を開発する。

### [中期実績]

・医療福祉機器への応用を目的として、柔軟で1V程度の低電圧駆動が可能なアシスト機器等を開発することを目標として、高伸縮性のアクチュエータを開発する。従来から開発を進めてきた、カーボンナノチューブとイオン液体のポリマーゲル電極からなるアクチュエータ素子の電極へ、ポリアニリンやカーボンナノホーン等の導電性微粒子の添加することにより、発生圧、伸縮率を向上させることに成功した。さらに、カーボンファイバー柔軟性電極からなるアクチュエータの実用化研究を企業と共同で開始し、アクチュエータ性能の目標値を達成するため、産総研で開発されたスーパーグロスカーボンナノチューブを用い、前記導電性微粒子、ポリマー、イオン液体との分散技術を改良し、目標値を達成した。また、電荷移動錯体を電極層に添加することで、アクチュエータの実用的課題であるDC通電時の長期耐久性が改良できることを見出した。以上の成果から、今期は、素子レベルでは、運動アシストに提供可能なレベルの素子開発に成功した。

・伸縮性電極の電場伸縮性機構について詳細に調べ、材料設計指針を得る。インピーダンス測定により、カーボンナノチューブを高分子に分散させた伸縮性電極を調べ、電場伸縮における応答において、電極内におけるイオン移動速度が、応答速度を決定する重要な因子であるということを見いだした。分子シミュレーションにより、導電性微粒子を分散させた伸縮性電極の電場印加における応力発生メカニズムについて、電極層の誘電率、あるいは微粒子密度などの関数で応力発生が決まることを見いだした。さらに、精密な電気機械測定系を構築し、その測定により、ナノカーボン高分子アクチュエータの変形を駆動するのは、イオンの体積効果であること、一定電圧を加え続けた際、変形の揺れ戻しなどは、高分子の粘弾性特性に起因することが分かった。これらの結果から電極層におけるカーボンナノチューブの分散の重要性に関するアクチュエータ材料の設計指針を得た。これらの成果により、素子レベルでの、目標の運動アシスト機器に適用可能なアクチュエータの材料設計指針を得た。

- ・1)高齢者、障害者、健常者等のより高度な社会参画を可能にする技術として脳波を用いたブレイン・マシンインターフェース(BMI)技術の開発を行ない、脳波による意思伝達装置「ニューロコミュニケーター」の実用化に向けた技術開発に成功した。
- 2)ALS 等重度運動機能障がい者を対象として、意思伝達効率を評価するための実証実験を行ったところ従来比 2 倍以上の速度を達成したことを確認した。
- 3)電氣的ノイズのシールド機能を搭載した脳波計測用ヘッドギアの開発に成功した。

### 3. 生活安全のための技術開発

#### [中期目標]

高齢化社会の到来に対応した事故防止、生活支援のため、情報通信及びロボット技術を活用した安全な社会生活支援技術の開発を行う。

#### [中期計画]

疾患の予防や社会生活における事故防止、高齢化社会の到来による介護負荷の軽減、ネットワーク社会における消費者の保護等、日常生活にかかわる生活安全のための情報通信技術(IT)にかかわる開発を行う。具体的には、ストレスセンシングなど生活安全にかかわるセンサ技術、高齢者や被介護者等の日常生活を支援するセンサ技術等の開発を行う。また、日常生活における人とのインタラクションが必要となる生活支援ロボットの実環境での安全性を確立するための基盤技術の開発を行い、安全規格を定める。

#### 3-(1) IT による生活安全技術

#### [中期目標]

安全な社会生活の実現をIT技術で支援するため、センサを用いた人や生活環境のモニタリングシステム、消費者情報保護のための情報セキュリティ技術の開発を行う。

#### [中期計画]

安全・安心な社会生活を実現するため、情報通信技術(IT)にかかわる研究開発を行う。具体的には、バイオケミカルセンサ等センサシステム自体の開発と併せて、センサを用いた人や生活環境のセンシング技術、センシングデータの解析やモデル化技術に基づいた異常検出やリスク分析及びリスク回避の技術開発を行う。さらに、消費者の情報や権利を保護するための情報セキュリティ対策技術の開発を行う。

#### 3-(1)-① 生活安全のためのセンサシステムの開発

#### [中期計画]

・生活習慣病の迅速診断、感染症対策のためのウイルスの検出、ストレスセンシングを目的として、導波モードや新蛍光材料を用いたバイオ・ケミカルセンシングシステムを開発する。また、予防医療につながる眼底の高精度診断のために、画像分光や能動的な光波制御を用いた眼底イメージング装置を開発し、5?m 以上の分解能を実現する計測技術を開発する。

生活環境下における有毒ガス等の分光検知を目指して、複数ガスの遠隔分光に適した200~500GHz 帯において、従来検出器の1/5以下の最小検出電力を持つ高感度超伝導受信器を開発する。

#### [中期実績]

・生活習慣病の迅速診断のための生活習慣病に起因して増える血中タンパク質などのバイオマーカー測定や、感染症対策のためのウイルスの検出、ストレスセンシングを目的として、導波モードセンサ及び表面プラズモン共鳴励起蛍光増強を用いたバイオ・ケミカルセンシングシステムを構築した。生活習慣病早期診断においては、マーカーとなる IL6 や TNF $\alpha$  が測定可能な V 溝断面に表面プラズモン共鳴励起層を付与した蛍光増強型センサを開発した。ウイルス検出に関しては、導波モードセンサを用いた高感度検出に成功するとともに、上記の V 溝型センサによって、100pfu の低濃度ウイルスの検出に成功した。ストレスセンシングにおいては、体液中のアドレナリン、ノルアドレナリン、ドーパミンの検出が可能な AI による表面プラズモン共鳴励起層を用いた蛍光増強センサの開発に成功した。さらには、導波モードセンサをベースとしたケミカルセンシングシステムを応用し、重金属汚染検出用のセンサやめっき液特性劣化モニタ用のセンサの開発にも成功した。さらには、光ディスク技術による菌類の検出にも取り組み、100 個/ml の大腸菌の検出に成功している。

・テルビウムをはじめとする希土類の錯体や有機蛍光性化合物など、数種類の異なるタイプの蛍光性化合物を系統的に合成し、発光特性と分子構造の関係や、錯体化合物の場合は発光特性と中心金属の種類との関係の評価した。また、これらの化合物の単結晶を作製して構造解析を行い、分子の立体構造や分子パッキングを詳細に調べ、発光特性との関連を評価した。さらに、モデル化合物を用いて、細菌表面に存在するリン酸基が、テルビウムイオンを認識して錯体を形成することを実証した。得られた結果を基に、開発したテルビウム錯体を 1,000 万 cfu/ml の院内感染の原因菌に作用させた結果、細菌表面においてテルビウム錯体由来の緑色蛍光を観察することができた。

・高精度眼底評価のために、画像分光や能動的な光波制御を用いた眼底イメージング装置を開発し、分解能 5  $\mu\text{m}$  を実現した。眼底機能は医療機関における臨床的研究を進め、酸素飽和度イメージングでは無侵襲測定で糖尿病網膜症にみられる虚血部位の評価を行えることを示した。さらに、従来手法では異常が判別し難い悪性高血圧症において、他に代替手段の無い評価が可能であることを世界で初めて示した。眼底イメージング装置開発で培った技術を元に、高感度近赤外分光器を用いた血液成分分析装置の開発に成功し、脈波に追従して血中成分の分光スペクトルを得ることに成功した。この成果を基に、血液情報のみの成分解析手法を実装し、非侵襲での血中中性脂肪の測定に成功した。さらには、皮膚内部の深さ 500  $\mu\text{m}$  の位置での高速な画像取得が可能な装置を作製した。また、皮膚表面における水分の分散動態を近赤外計測により定量分析することに成功した。

・200-500 GHz 帯において、従来型検出器の 1/5 以下の最小検出電力を持つ高感度超伝導受信器を開発し、亜酸化窒素の数 pW 程度の微小放射を検出した。また、共同研究機関の開発した基準信号発生器、光学系、スペクトル解析ソフトウェアと統合した可搬型分光システムを開発し、模擬火災現場で発生させたシアン化水素を、8 m 離れた位置から遠隔検知することに成功した。また、核物質の遠隔・短時間・非破壊検知や新材料開発用 X 線元素分析において、既存半導体検出器より 1 桁以上優れたエネルギー分解能を持つ超伝導転移端検出器の計測時間短縮とイメージング機能向上には、検出器多画素化が必須とされる。多画素化に伴い増大する室温・極低温間の信号配線数および伝熱による冷凍機負荷の抑制のため、極低温で動作する周波数多重読出回路の研究を行い、多画素化数増大の鍵となる周波数精度の高い設計指針の確立と、周波数分離フィルタの電極損失低減に伴う低雑音化の実証に成功した。また、雑音の主因、寄与度、対策を明らかにした。

### 3-(1)-② 生活安全のためのセンサを用いた見守り及び異常検出技術

#### [中期計画]

・高齢者及び被介護者の健康及び身体状態の把握や、介護者の支援を目的とし、生活の安全性の検証とリスク分析の手法を開発する。具体的には、生活における危険状態の自動検出を実現するために、人の 10 以上の姿勢や運動状態の識別及び運動量を推定できる技術を開発する。異常状態の自動検出率 95% を目指して、生活動画、日常音環境等を分析する技術を開発する。また、医療における早期診断支援を目的とし、がん細胞の自動検出率 95% を実現するために、胃生検画像を自動的に診断する技術を開発する。

#### [中期実績]

・高齢者及び被介護者の健康及び身体状態の把握や、介護者の支援を目的とし、生活の安全性の検証とリスク分析の手法を開発した。具体的には、遠隔見守りシステムから得られる個々の生活パターンを解析し、複数人が同一作業を行っているといった関連性を抽出するシステムを実現した。また、人の 10 以上の姿勢推定を加速度データの周波数解析により実現した。更に、生活環境におけるセンサ信号を解析するシステムを構築し、S/N 比 10db の環境音からの異常検出において、従来法(LGB)で 88.3% の検出率に対し、95.2% を達成するなど、目標としていた検出率を達成した。また、IT 技術によるがん診断支援を目的に、胃生検画像自動診断技術の研究開発した。高次局所自己相関特徴と機械学習に基づき、がん領域を絞り込む画像分割、がん画像に特異的な識別器群統合、色指標局所相関特徴量の導入、病理医の着眼点に基づく改良を行い、最終的に目標であるがん検出率 95% 以上を達成した。

### 3-(1)-③ 人間機能モデルによる生活安全評価技術

#### [中期計画]

・乳幼児と高齢者の傷害予防を目的に、傷害情報サーベイランス技術と実時間見守りセンシング技術を開発

し、12,000件以上からなる傷害データベースと WHO 国際生活機能分類に準拠した生活機能構造を作成する。データベースから生体モデルと生活機能モデルを構築する技術を開発するとともに、10件以上の製品の設計、評価及びリスクアセスメントに適用し、生活支援ロボットの設計と評価に応用する。開発技術を5か所以上の外部機関や企業が利用可能な形で提供し、運用検証する。

[中期実績]

・医療機関などと協力し、中期計画期間中に新たに 10,000 件の傷害データ、111 件の虐待データを追加し、合計 30,000 件のデータを整備し、企業や消費者庁に提供した。高齢者の生活支援技術として、施設構造が異なる施設のヒヤリハットデータを統計処理する空間正準化機能や、多様な生活機能を有する生活者の生活状況を、WHO 国際生活機能分類に準拠した構造として記述し、幾何学的に比較、類型化する技術を開発し、これらの技術を用いて 22 施設からの 133 件のヒヤリハットデータ、122 人の生活データからなるデータベースを作成した。生活機能特性データ・リスク評価技術・設計支援技術等に関して、56 課題(製品)・56 社と共同研究を実施し、成果を Web・シンポジウムなどで一般公開した。成果の一部は、書籍化されたり、デザインツールとして商品化された。開発技術は生活支援ロボットにも応用し、特別養護老人ホーム、医療施設、児童相談所、小学校など 11 か所に提供することで、運用検証を進めた。

### 3-(1)-④ 消費者の情報や権利を保護するための情報セキュリティ対策技術

[中期計画]

・ネットワーク社会において消費者の情報や権利を保護するため、バイオメトリクスやパスワード等の認証情報が漏えいした際にも、認証情報更新を容易にすることにより、被害を最小限に抑えることができる個人認証技術や、ユーザがサーバと相互に認証することで、ユーザがフィッシング詐欺を認知可能とする技術等のプライバシー情報保護及びユーザ権限管理技術を開発する。さらに、開発した技術を、ウェブブラウザのプラグイン等の形で5つ以上実装、公開し、10以上のウェブサービス等での採用を目指す。

[中期実績]

・従来の高機能暗号の効率化・高安全化を行い、たとえば、暗号文サイズが世界最小となる関数暗号の設計や、CCA 安全性と呼ばれる高度な安全性レベルを達成するための手法を明らかにした。さらに、これらのノウハウをもとに産総研ゲノム情報研究センターなどと連携を行い、さまざまなデータベースに対する秘匿検索システムの実装を行い、創薬分野における具体的課題の1つの解決に貢献した。また、認証情報を更新可能なキャンセルバイオメトリクスの安全な設計や、プライバシー保護可能プロトコルとして従来より高度な安全性を提供可能な匿名認証方式の設計とその数学的安全性証明を行った。また、開発暗号に関係した暗号ライブラリを2つ実装し公開を行った。

・パスワードを用いた認証付鍵共有プロトコルをインターネット標準化機関 IETF に提案し、RFC 6628 Efficient Augmented Password-Only Authentication and Key Exchange for IKEv2 として標準化された。ウェブサービスに使われる HTTP の新たなユーザー認証法として HTTP Mutual プロトコルを IETF に提案し、Firefox、および Chromium ベースのウェブブラウザや Apache モジュール、および WEBrick としてのウェブサーバ実装を公開した。パスワード個人認証法等、研究成果を5つ実装し公開、あるいは事業化した。Web アプリ開発におけるセキュリティに関する UI ポリシーやユーザー認証技術が、産総研技術移転ベンチャー企業を通じ、10の実サービスで採用された。

・ネットワーク社会における消費者の情報や権利を保護するための技術として、ネットワークを介して連携・協調する並行処理の正しさを設計段階で確認するための並行処理可視化ツールの開発・実装を行った。通信ソフトウェアに頻出する正方向と逆方向の対の動作(例:プロトコルのクライアント側とサーバ側)を安全かつ効率的に実装可能にする逆方向実行可能な仕様を設計・実装し、仮想化による実行順操作を組み合わせて、実際の暗号通信ソフトウェアの脆弱性検証を行うシステムを構築した。さらに、逆方向実行可能な仕様の部分を一般化してプログラミング言語を実装し、動作確認を行った。仮想化技術によってシステム安全性を向上させるため、仮想マシン上の OS のシステムコールを追跡するハイパーバイザーを作成した。このトレース結果から定常時と攻撃時のシステムコールを可視化し、異常動作を明示できるようにした。また、匿名性と秘匿性を形式的に(機械的に)証明可能にする論理体系の構築を行った。

・暗号システムが動作する際、正規の入出力とは別に測定されるデータからしばしば秘密情報が漏洩する問題について、センシングデータの解析やモデル化技術に基づいた異常検出の開発を行った。具体的には、物理的実体を持つステートマシン上で暗号演算が行われる際、少なくとも有限状態数を持つステートマシン

上での安全な実装が原理的には困難であることの知見を得た。さらに、測定データからそのような脆弱性を評価する手法として、測定データの背景にある確率分布を推定することなく、データ列に対する算術処理により行う手法を提案、この手法を脆弱性評価用研究用に公開されているデータに適用し、脆弱性が正しく検出されることを確認した。

### 3-(2) 生活支援ロボットの安全の確立

#### [中期目標]

生活支援ロボットを実環境で安全に動作させるため必要となる安全性の評価技術の開発を行う。

#### [中期計画]

介護及び福祉に応用する生活支援ロボットの製品化に不可欠な実環境下での安全の確立を目指して、ロボットの新しい安全基準を構築し、ロボットを安全に動作させる際に必要な基盤技術の開発を行う。また、ロボットの制御ソフトウェアの信頼性を高め、実装するための基盤技術の開発を行う。特に、ロボットのリスクマネジメント技術の開発においては、機能安全の国際規格に適合可能な安全規格を定める。

#### 3-(2)-① ロボットの安全性評価のためのリスクマネジメント技術の開発（IV-3-(1)-④へ再掲）

#### [中期計画]

・機能安全の国際規格に適合可能なロボットの安全規格を定めるため、ロボットの安全性を試験、評価するための技術を開発する。ロボットの安全技術としてのセンサ技術、制御技術、インターフェース技術、ロボットの安全性を検証するためのリスクアセスメント技術を開発する。

#### [中期実績]

・生活支援ロボットの世界初となる新しい国際安全規格の ISO 標準化を達成し、そこで示される安全要求を検証するための試験、評価、リスクアセスメント技術を開発した。具体的にはシミュレーションに基づくリスクアセスメント手法を開発し、国際安全規格に適合したロボットのタイプ別に多数の要素数での分析を実現した。また一般機械や自動車の機能安全規格の概念調査と分析により、センサ技術、制御技術、インターフェース技術等の安全システム設計の技術要件を明らかにした。以上の成果は映像等で公開するとともに、基準ロボットを作成して開発者向けのリファレンスとするなど、実際のロボット開発に利用しやすい形で開発者に提供し、また ISO での標準化提案と規格策定に貢献した。これらの成果を活用し、実証試験を行なうための拠点として生活支援ロボット安全検証センターを構築した。

#### 3-(2)-② 高信頼ロボットソフトウェア開発技術（IV-3-(1)-⑤へ再掲）

#### [中期計画]

・機能安全の国際規格に適合可能な安全なロボットを実現するため、高信頼なロボットソフトウェアを設計、実装する技術を開発する。このため、ロボットソフトウェアのリスクアセスメント、システム設計、開発、評価を一貫して行うことのできる技術を開発する。

#### [中期実績]

・機能安全の国際規格に適合した、SysMLによる高信頼モデルベースの V 字開発プロセスを確立した。具体的には上流モデルによる安全高信頼設計、安全分析用モデル言語、人との関係を考慮した拡張 V 字モデルプロセスと設計・妥当性確認、リスクアセスメント手法、機能安全認証済みの RT ミドルウェアなどを開発し、その成果を介護ロボットや双腕型セル生産ロボット、自律移動電動車椅子などの種々の人共存型ロボットの開発に適用し、有効性を確認した。以上により、リスクアセスメント、システム設計、開発、評価を一貫して行うことのできる技術を確立し、その成果は学術発表のみならず事例集や専門セミナーでの依頼講演、製品ツールに組込まれるなど実用化を達成した。

### Ⅲ. 他国の追従を許さない先端的技術開発の推進

#### [中期目標]

我が国の産業競争力を維持していくため、先端的な情報通信産業や製造業の創出につながる材料、デバ

イス、システム技術の開発を行う。また、サービス生産性の向上と新サービスの創出を目指して、情報技術、機械技術の開発を行う。

[中期計画]

様々な資源、環境制約問題を乗り越えて我が国の国際競争力を強化するためには、技術指向の産業変革により新産業を創出する必要がある。特に、情報通信産業の上流に位置づけられるデバイスの革新とともにデバイスを製品へと組み上げていくシステム化技術の革新が重要である。そのため、競争力強化の源泉となる先端的な材料、デバイス、システム技術の開発を行う。また、情報通信技術によって生産性の向上が期待できるサービス業の発展に資するため、サービス生産性の向上と新サービスの創出に貢献する技術の開発を行う。さらに、協調や創造によるオープンイノベーションの仕組みを取り入れた研究開発を推進する。

## 1. 高度な情報通信社会を支えるデバイス、システム技術の開発

[中期目標]

情報通信の高度化のための、光、電子デバイスの高機能化及び高付加価値化技術の開発を行う。また、IT 活用による製造技術及びシステム技術の高効率化及び高機能化に取り組む。

[中期計画]

情報通信社会の継続的な発展には、低環境負荷と高性能の両立及び新機能の実現によるデバイスの革新が必要である。このため、光、電子デバイスの高機能化、高付加価値化技術の開発を行う。また、デバイスの設計を容易にするため、計算科学を用いた材料、デバイスの機能予測技術の開発を行う。さらに、IT活用による製造及びシステム技術の高効率化や高機能化に関する技術の開発を行う。

### 1-(1) デバイスの高機能化と高付加価値化技術

[中期目標]

更なる微細化を実現する革新的電子デバイス、大容量光送受信を可能とする超小型全光スイッチ、情報入出力機器のフレキシブル化と小型軽量化を実現する高性能光入出力素子の技術開発を行う。また、電子デバイスの構造、物性及び新機能予測を行うシミュレーションシステムの開発を行う。

[中期計画]

情報通信社会の継続的な発展のために、微細化等によるデバイスの高機能追求やフレキシブル有機デバイスの開発、光通信の波長、空間の高密度化等、情報通信技術の革新に資する光、電子デバイス技術の開発を行う。また、シミュレーションにより特性を予測することで、デバイスの開発を容易にする技術の開発を行う。特に、極微細かつ低消費電力素子として期待されるスピントランジスタの実現を目指して、半導体中でのスピンの注入、制御及び検出技術の開発を行う。

#### 1-(1)-① 情報処理の高度化のための革新的電子デバイス機能の開発

[中期計画]

・ポスト CMOS 時代の極微細、低消費電力素子として期待されるスピントランジスタの実現を目指して、半導体中でのスピンの注入、制御及び検出技術を開発する。また、光ネットワーク高度化のためのスピン光機能デバイスを開発する。

CMOS 素子とは異なる原理で動作する超低消費電力演算素子の実現を目指して、金属酸化物材料と高温超伝導材料の物性解明と物性制御技術の開発を行い、材料の磁気、電気、光学特性等を電子相状態により制御するプロトタイプ素子において低消費電力スイッチング機能等を実証する。

[中期実績]

・半導体へのスピン注入技術に関して、強磁性電極と Si 間に熱勾配を設けるだけで Si へのスピン注入される新現象「スピントネル・ゼーベック効果」を発見した。この成果は廃熱を有効に利用できる新たなスピン注入手法であり、スピントランジスタの更なる省電力化が可能であることが示された。更に、同効果による Si へのスピン注入効率を外部電界により制御することにも成功した。これらの成果は Nature および Nature 姉妹誌に掲載された。また、次世代トランジスタ材料 Ge への電氣的スピン注入に世界で初めて成功し、同材料をチャネル層とするスピントランジスタが実現可能であることを原理的に実証した。スピン光機能デバイスに関して、



Fe などの一般的な金属強磁性体を用いた新型アイソレータ素子の理論提案を行うと共に(特許取得)、Si 光導波路上に直接作製可能であることを実験的に示した。これは Si フォトニクス技術を用いた光ネットワークの集積化・高度化に繋がる成果である。

・これまでの鉄系超伝導体の研究成果をもとに平成 24 年度よりパウダーインチューブ法を用いて鉄系超伝導線材の開発を開始し、作成プロセスの最適化によりその臨界電流密度が 2T の磁場中で 34000[A/cm<sup>2</sup>]を達成した。同時に、産業応用の一つの出口として水素液面計の開発に着手し、水素の沸点近傍の物質の選定、長尺線材の開発を行った。また、物質開発においては、Ba と Bi からなる層状構造をもつ Ba<sub>2</sub>Bi<sub>3</sub> において、4.3K で超伝導が出現することを発見した。さらに AuCu<sub>3</sub> 構造を持つ(Sr<sub>1-x</sub>Na<sub>x</sub>)Bi<sub>3</sub> 及び LaBi<sub>3</sub> において超伝導を発見し、電子の状態密度と超伝導転移温度の相関を明らかにした。また、PbFCl 型結晶構造及び、3d、4d 遷移金属原子等に着目し、超伝導体をはじめとする新規化合物の開発を目指した材料開発を行い、AP<sub>2-x</sub>X<sub>x</sub> (A=Zr, Hf, X=S, Se)で表記可能な新超伝導体群を見出した。さらには、水銀系銅酸化物高温超伝導体の一つである Hg-1223 において、15 万気圧の圧力下で、史上最も高い T<sub>c</sub>=153K(零下約 120 度)においてゼロ抵抗状態を観測することに成功した。

・トポロジカル超伝導体である Sr<sub>2</sub>RuO<sub>4</sub> において従来技術では作成できなかったジョセフソン接合、SQUID などのデバイスプロセスを確立し、エッジ状態、ドメイン構造などのトポロジカル超伝導特有の性質を解明し、将来的にトポロジカル量子ビット構築への道筋をつけた。超伝導電磁シミュレーション技術を向上させることにより、超伝導ストリップライン検出器、高温超伝導体 THz 電磁波発振器などの実用超伝導デバイスのダイナミクスを解明し、これらのデバイスの性能向上へ大きく役立てることができた。また強磁性バリア固体冷凍機や新原理 THz 発振器など新奇デバイス構造に関する提案を行い、超伝導デバイスの新しい方向性を示した。

・電解質をゲート絶縁層に用いた電気二重層トランジスタにより、強相関酸化物の電子相転移を電界制御することに成功するとともに、強相関酸化物 SmCoO<sub>3</sub> をチャンネル層に用いたプロトタイプ素子において室温で約 250 倍の抵抗変調に実現した。また、強誘電体薄膜をスイッチング層に用いた強誘電抵抗スイッチング素子を開発した。強誘電スイッチング層に BiFeO<sub>3</sub> を用いた素子では、10 万回以上のデータ書換え、室温で 10 年以上のデータ保持などの素子特性を実現するとともに、BaTiO<sub>3</sub> 超薄膜を用いた素子では、スイッチング電圧 0.5 V、電流密度 10<sup>3</sup> A/cm<sup>2</sup> 以下の低消費電力スイッチングを実現した。室温マルチフェロイック BiFeO<sub>3</sub> において、電気・磁気スイッチング特性を解明し、スイッチングの閾電場・閾磁場がそれぞれ 20kV/cm、3T であることを明らかにした。それを基にして電場・磁場により電気・磁気の高自由度を独立に制御するための基礎技術を開発した。

## 1-(1)-② 情報入出力機器のフレキシブル、小型化のためのデバイスの研究開発

### [中期計画]

・小型軽量の次世代情報家電に資する柔軟性、軽量性及び耐衝撃性に優れたフレキシブルなディスプレイを開発する。そのために受発光、導電、半導体、誘電体等の光電子機能を有する新規の有機材料や無機材料を開発する。これらの材料のナノ構造制御により、非晶質シリコンよりも優れた移動度(5cm<sup>2</sup>/Vs 以上)、on/off 比(5桁以上)、駆動電圧(5V 以下)で動作する有機薄膜トランジスタや受発光素子を開発する。さらに赤色領域での位相差 0.25 波長を有する偏光素子や回折、屈折素子等の高性能光入出力素子を開発する。

### [中期実績]

・第 2 期で開発した塗布型 n チャンネル有機半導体材料(長鎖フラーレン誘導体)と p 型有機半導体材料を用いて、スタンプ法などの製膜法と有機薄膜トランジスタの電気特性の関連を調査した。その結果、n チャンネル、p チャンネルともに 0.1cm<sup>2</sup>/Vs を超えるキャリア移動度を示す有機薄膜トランジスタを得ることができた。n チャンネルおよび p チャンネル有機半導体材料を溶剤に溶解させたインクを用いて、インクジェット法などの印刷法を中心としたウェットプロセスにより、リングオシレータの作製と動作確認に成功した。また、単層カーボンナノチューブを高分子溶液に均一に分散し製膜する技術を開発し、プラスチック基板上に高性能な透明電極を直接塗布製膜する技術の開発に成功した。

・柔軟性・軽量性・耐衝撃性に優れたフレキシブルデバイスの開発に向け、印刷法によるデバイス製造に適した材料・プロセス・デバイス評価にわたる基盤技術の開発を行った。材料開発では、10 μC/cm<sup>2</sup> 以上の高い自発分極を示す有機強誘電体インク材料の開発とその印刷法による単結晶薄膜製造技術の開発に成功し、3V 以下の低電圧で不揮発性分極反転動作を実現した。プロセス開発では、インクジェット法による半導体単

結晶薄膜製造技術、高撥水基板上に高材料使用効率で高性能半導体薄膜を形成するプッシュコート製膜技術等を開発した。配線形成技術では、銀ナノインクと光反応性表面を用いて  $1\mu\text{m}$  以下の細線の形成を可能にする高精細印刷配線形成技術を開発した。評価技術では、電界誘起電子スピン共鳴法による結晶粒界ポテンシャル評価技術、レーザー誘起光電流法によるキャリア拡散評価技術、電荷変調分光法による分子秩序度評価技術等の開発に成功した。上記により、非晶質シリコン薄膜トランジスタより優れた性能を示すフレキシブル有機薄膜トランジスタや受発光素子を印刷技術によって製造するための基盤技術を確立した。

・1)水分散性量子ドット(CdTe)を用いて、逆ミセル法により複数量子ドット分散ガラスカプセルを開発した。このカプセルの自己組織化により形成されたファイバーは、エレクトロルミネッセンスを発した。疎水性量子ドット(CdSe)についても、表面をシラン化して保護した後、逆ミセル溶液中に導入することで、高輝度高耐久性のガラスカプセルを得た。

2)ガラスカプセル形成メカニズムについては、量子ドット表面のリガンドとガラス前駆体との置換の程度が、輝度と耐久性に影響を与えることがわかった。このため、合成時の量子ドットの濃度には、サイズに応じた最適値があることがわかった。

3)また、金ナノ粒子を表面処理なしにガラスコートする技術を開発し、表面のガラス層厚みを  $5\text{nm}$  程度の精度で制御しつつ、量子ドットを付着させる技術を開発した。これを用いて、局所電場効果による蛍光増強を観察した。

4)さらに長波長発光量子ドットについて、アミン系のリガンドを用いて、発光波長  $735\text{nm}$ 、発光効率  $41\%$  の量子ドットを得た。粒径は  $6.1\text{nm}$  と小さいため、蛍光試薬としての応用上は有利である。

・柔軟性、軽量性、耐衝撃性に優れた有機受光素子の開発を目的に研究を行った。摩擦転写法等により分子配向制御した高分子材料及び機能性分子について精密配向評価、新規材料の探索を行った。摩擦転写高分子膜による配向誘起により p 型半導体分子である棒状オリゴマー分子の配向制御を実現した。これと n 型半導体分子とを積層した受光素子を作製し、配向制御により、制御しないものと比較して 2.8 倍の光電変換効率の向上を確認し、最大 4 倍以上の偏光応答性を達成した。柔軟性、軽量性、耐衝撃性に関してはプラスチック基板の有機受光素子への適用が可能であることを確認した。

・赤色領域で位相差  $0.25$  波長を有する偏光素子作製に必要な高屈折率ガラスを開発するとともに、位相差約  $0.25$  波長の偏光素子の作製に成功し、中期計画の目標を達成した。更に紫外領域で位相差  $0.25$  波長を有する偏光素子を開発した。また、屈折現象と回折現象を組み合わせた回折・屈折光学素子を作製するとともに、回折現象を利用した新規光学素子を開発した。

・小型軽量の次世代情報家電に資する柔軟性、軽量性のために新規の無機材料を開発することが目標であったが、密度が現在実用されている鉛系圧電セラミックス PZT より約 4 割軽く、かつ高性能な鉛フリー圧電セラミックスの開発に成功した。平成 25 年度に、電子情報技術産業協会の規格に従い、開発した鉛フリー圧電セラミックスの圧電特性圧の評価を行い、代表的な鉛系圧電セラミックス(PZT5A)と同等であることが確認できた。また、AE センサーや超音波距離センサーの試作を行い、鉛フリー圧電センサーの産業応用への基盤構築ができた。平成 26 年度に、当初に期待していなかった鉛フリー圧電セラミックスの積層体や振動子への応用の可能性を示すことができた。薄膜材料として圧電定数  $100\text{pC/N}$  以上を実現しデバイスを試作することが目標であった。圧電定数は目標に至らなかったが、圧電振動する系に特徴的な共振・反共振特性を利用した圧電共振デバイスの試作を行った。

### 1-(1)-③ 光通信の波長及び空間の高密度化 (I-2-(3)-③を一部再掲)

#### [中期計画]

・高精細映像等の巨大コンテンツを伝送させる光ネットワークを実現するために、既存のネットワークルータに比べてスループットあたり 3 桁低い消費電力でルーティングを行う光パスネットワークで伝送する技術を開発する。具体的には、ルートを切り替えるシリコンフォトニクス、ガラス導波路技術を用いた大規模光スイッチ、伝送路を最適化する技術及び光パスシステム化技術を開発する。また、 $1\text{Tb/s}$  以上の大伝送容量化を目指して、多値位相変調や偏波多重を含む超高速光多重化のためのデバイス及び光信号処理技術を開発する。情報通信の安全性に向けて、量子中継等の技術を開発し、高密度波長多重量子暗号通信デバイス、システムを開発する。

#### [中期実績]

・高精細映像等の巨大コンテンツを伝送させる光ネットワークを実現することが目標であったが、平成 26 年度

に大規模テストベッドでの総合的連携動作の確認及び、当初には期待していなかった超高精細映像のリアルタイム遠隔セッションや遠隔医療といった応用への可能性を実証・実演するなど、持続発展可能な将来の情報通信インフラ技術の基盤が構築できた。開発された技術としては、平成 22 年度に、小規模なダイナミック光パスネットワークおよびその要素技術の原理実証デモの実施に成功した。平成 23 年から平成 26 年度の 4 年間は、ダイナミック光パスネットワークを全国規模に拡張する要素技術の開発及びそれらを集約実装するテストベッド構築を目標として研究開発を進めた。平成 24 年には、その要となる波長選択スイッチの機能を拡張するシリコンフォトニクス技術を用いた切り替え技術や、伝送路を最適化する独自のパラメトリック分散補償システムなどを協働企業と共同で開発した。平成 25 年には、シリコンフォトニクス技術による世界最小 8x8 光スイッチの試作に成功し、これらの要素技術を実際の装置としてプロトタイプ化し、テストベッドを構築していった。

・超高速光多重化のためのデバイス及び光信号処理技術の開発が目標であったが、光信号処理技術については変調フォーマット変換等の基本動作を確認するとともに、光源のスペクトル純度評価技術を開発し、民間企業に技術移転して製品化に至るなど、大容量光ネットワーク実現の基盤を構築することができた。一方、デバイス技術に関しては、マルチキャリア発生には至らなかったものの、高効率動作を実現するための指針を得た。開発された技術は、平成 22 年度の変調フォーマット変換技術、平成 23 年度のキャリア抽出技術、平成 22-24 年度の光信号スペクトル純度評価技術、平成 25-26 年度のマルチキャリア発生技術等である。

・中期目標は情報通信の安全性向上に向けた量子中継技術と、高密度波長多重量子暗号通信デバイス・システムの開発であった。平成 22 年度は量子中継の基盤である 4 光子量子もつれ交換技術について、雑音除去により光通信波長帯で世界最高となる交換成功率 94.6%を達成した。平成 23-24 年度は 4 波長量子もつれ光源を用いた波長多重量子暗号鍵配布システムを構築し、伝送距離 50km、多重度 4、29.8%の誤り訂正後の鍵生成率 16kbps を実現した。平成 25-26 年度は高密度波長多重量子暗号通信デバイスを構築するために、量子もつれ光子対を用いた 2 光子光ファイバ干渉計を構築し、波長帯域幅 115.8nm に渡る分散不感化を実現し、中期目標を概ね達成できた。

#### 1-(1)-④ ナノ電子デバイスの特性予測と設計支援技術

##### [中期計画]

・微細 CMOS の性能向上に用いられている機械的ひずみに代表される新構造及び新材料デバイスの構造や特性を実際の試作に先立って予測するために、計測技術を一体化させた設計ツールとするシミュレーションシステムを開発する。

##### [中期実績]

・TCAD シミュレータ HyENEXSS とラマンシミュレーター／STM シミュレータが結合したシステムを開発した。これにより、デバイス中の歪み分布／ポテンシャル分布の測定結果を解析し、さらにデバイス特性を解析することが可能となった。このようなシステムは、世界的に見ても例がなく、産総研独自のシステムである。Si デバイスにおける顕微ラマン測定、STM 測定の結果を、開発したシミュレーションシステムと連携して用いることによって、デバイス特性のレイアウト依存性解析、立体構造トランジスタの特性解析等を行うことに成功した。

#### 1-(1)-⑤ 高効率な設計とシミュレーションのための高性能計算技術

##### [中期計画]

・電子デバイスが発揮する新機能を高速なコンピュータシミュレーションにより予測することを目的として、数千万 CPU コア時間程度の大規模計算におけるシミュレーションソフトウェア開発支援環境を開発する。この並列／分散計算環境において、アプリケーションの特性に応じて適切な資源を割当て、障害が発生しても実行を継続する、高信頼／高効率計算技術を開発する。

##### [中期実績]

・数千万 CPU コア時間程度の大規模計算を実現する上で不可欠となる耐障害性を備えたシミュレーションソフトウェアの開発支援環境としてプログラミングミドルウェア Falanx を開発し、障害が発生しても適切な資源を割当てることで実行を継続する高信頼／高効率計算技術を創成した。この開発支援環境は量子化学分野の実アプリケーション開発に応用され、その実用性を示した。またこの開発支援環境を用いて電子デバイスの新機能を予測する大規模シミュレーションプログラムを開発するため、産業界で実用に供されているソフトウェ

ア HyENEXSS の分散並列化を実施し、これまで計算不可能であった IGBT 9 セルの三次元電流電圧特性シミュレーションを実現した。HyENEXSS の改良は情報技術的側面のみならず物理方程式の内容にまで踏み込んで進め、デバイス構造に即した領域分割法の設計・実装やデバイス方程式の反復解法の収束改善に向けた基礎的研究などをあわせて実施した。さらに新規材料・新規物理モデルのシミュレーションへの迅速な組み込みを可能にするため、全く新しいシミュレーションプラットフォームの開発に着手し、そのプロトタイプを完成させた。

## 1-(2) IT 活用によるシステムの高効率化及び高機能化

### [中期目標]

IT を利用したシステムの高機能化に取り組む。特に、産業用ロボット知能化技術、人間機能シミュレーション技術等の開発を行う。

### [中期計画]

製品開発サイクルの短縮及び新たな付加価値製品の製造のため、組立作業や視覚認識における産業用ロボットの知能化を推進し、組み込みシステムの高効率化と高機能化の両立を実現する。また、人の機能をシミュレーションし、その結果を製品開発にフィードバックすることで、人にとって使い易い製品設計を支援する技術を開発する。特に、セル生産のロボット化において、一部が変形する部品や配線材等の柔軟物を含む5種類以上のワークの組立作業を対象に開発した技術を実証する。

### 1-(2)-① 製造の省力化、高効率化のための産業用ロボット知能化技術

#### [中期計画]

・セル生産のロボット化を目指し、変形を含む物理シミュレーション技術、作業スキルの解析に基づく作業計画及び動作計画ソフトウェア、センサフィードバックに基づく組立動作制御ソフトウェアを開発する。代表とする組み立て工程の50%をカバーする、5種類以上のワークの組立作業を対象に開発した技術を実証する。また、工業部品の多くを占める黒色や光沢のあるワークに対しても位置姿勢検出精度が光沢のない中間色の場合と同程度の3次元視覚情報処理技術を実証する。

#### [中期実績]

・有限要素法を用いた変形を含む部品の物理シミュレーション技術、人の作業動作に基づいて作業スキルを解析することで作業計画を行うソフトウェア、またロボットが干渉を避ける動作を計画するソフトウェア、さらに力センサの情報を基に組み立ての動作制御を行うソフトウェアを開発した。これらにより、代表とする組み立て工程の50%をカバーする4種類の部品に加えて1種類の柔軟部品の組み立て作業の自動化を実現した。また、黒色や光沢のあるワークに対してステレオビジョンを用いた3次元視覚情報処理技術を開発した。これにより、位置姿勢検出精度が光沢の無い中間色の場合と同様であることを実証した。

### 1-(2)-② 組み込みシステムの最適設計技術

#### [中期計画]

・情報通信機器の省エネルギー化のために、再構成可能なデバイス(FPGA等)について、しきい値可変デバイスを用いて静的消費電力を1/10程度に削減する技術を開発する。また、シリコン貫通電極を用いた3次元積層構造のFPGAについて、最適設計を行うアーキテクチャ技術と設計ツール技術を開発する。

#### [中期実績]

・しきい値可変デバイスを用いて静的消費電力を1/10程度に削減可能なFPGAの開発が目標であったが、NEDO LEAP プロジェクトへの参加により、しきい値制御性と低電圧動作性に優れたSOTBを用いたチップ試作の機会を得て大きく躍進することができ、静的消費電力1/50、動作エネルギー1/13を達成するとともに、当所の想定を超えて、実用化へ向けた評価ボードの開発にまで踏み込むことができた。3次元構造のFPGAについては、最適設計を行うアーキテクチャ技術と設計ツール技術の開発を達成することができた。

### 1-(2)-③ 製品デザインを支援する人間機能シミュレーション技術

[中期計画]

・人間にとってより安全で使いやすい機器を設計することを目的に、筋骨格構造を含む人体形状、運動モデルを100例以上データベース化する。また、感覚が運動を引き起こすメカニズムの計算論的モデルを心理物理実験に基づいて構築する。これらを可視化するソフトウェアとして、数千自由度の簡易モデルについては5コマ/s以上の処理速度を実現し、数万から数十万自由度の詳細モデルについては力再現誤差10%以下の精度の生成的感覚運動シミュレーションを実現する。これを5件以上の共同研究を通して製品設計時の操作性及び安全性評価に応用する。

[中期実績]

・人間にとってより安全で使いやすい機器を設計することを目的に、76件の手指寸法、7件の筋骨格運動、724件の人体運動、801件の手運動と接触情報、合計1,500例以上をデータベース化した。また、手姿勢と握りやすさの関係を実験的に導出することで、コンピュータ上でその評価を行えるようにした。これらの評価を実施するプラットフォームソフトウェアとしてDhaibaWorksを開発し、リンク構造からなる簡易モデルについては5コマ/秒のリアルタイムの姿勢生成を、筋骨格構造を含む詳細モデルについては最大発揮力を10%の再現精度で計算できるようにした。これを5件の共同研究と2件の受託研究を通して製品設計時の操作性・安全性評価に応用した。

### 1-(3) ナノエレクトロニクスのオープンイノベーションの推進（I-4-(3)を再掲）

[中期目標]

高付加価値デバイスの効率的、効果的な技術開発のため、ナノエレクトロニクスのオープンイノベーションのためのプラットフォームを整備し、オープンイノベーションを推進する。また、高性能かつ高機能なナノスケールの光、電子デバイスの開発を行う。

[中期計画]

次世代産業の源泉であるナノエレクトロニクス技術による高付加価値デバイスの効率的、効果的な技術開発のために、つくばナノエレクトロニクス拠点を利用したオープンイノベーションを推進する。つくばナノエレクトロニクス拠点において、高性能、高機能なナノスケールの電子、光デバイスの開発を行うとともに、最先端機器共用施設の外部からの利用制度を整備することにより、産学官連携の共通プラットフォームとしての活用を行う。

#### 1-(3)-① ナノスケールロジック、メモリデバイスの研究開発

[中期計画]

・極微細CMOSの電流駆動力向上やメモリの高速低電圧化、集積可能性検証を対象に、構造、材料、プロセス技術及び関連計測技術を体系的に開発する。これによって、産業界との連携を促進し、既存技術の様々な基本的限界を打破できる新技術を5つ以上、創出する。

[中期実績]

・第3期中期計画においては、極微細CMOSの電流駆動力向上と微細化限界打破のために、シリコンナノワイヤ形状制御技術を開発し、断面寸法が10nm以下の極めて微細なSiナノワイヤトランジスタの動作実証に成功することで、微細化限界を打破できる新技術を1つ創出した。

・第3期中期計画においては、極微細CMOSの電流駆動力向上の為に、1)シリコンナノワイヤ形状制御技術を提案した。これより、従来技術では達成しえない平坦形状を有するナノワイヤ形成に成功した。ロジック回路の圧倒的な省電力のため、2)合成電界型のトンネルトランジスタ(TFET)を提案し、物理限界である60mV/decを凌駕する急峻性と、Si系世界最高ON電流を実現した。平成26年度にはCMOS化の基本プロセスを構築した。さらに、産総研独自技術の3)等電荷トラップ導入TFETを創出し、既存技術の様々な基本的限界を打破できる新技術を3つ創出した。また、デバイス実証に留まらず、トンネルトランジスタのTCADモデル、及び回路性能予測のコンパクトモデルを構築し、極低電圧CMOSの基本技術を体系的に開発することに成功した。

・極微細トランジスタの高性能化に必要となる、立体チャネル構造に適用可能な高被覆金属膜堆積手法を用いた立体ゲート電極プロセスを開発した。具体的には、化学気相蒸着法によるNi膜の堆積とシリサイド電極の形成を検討し、原料となるNiの有機金属化合物の選択と製膜プロセスの最適化により、開口アスペクト4

程度のトレンチ形状において95%以上の高被覆のNi膜が形成できることを確認し、さらにシリサイドプロセスを施すことで低抵抗なNiシリサイド電極が形成できることを示した。また、原子層堆積法によるTiN膜の堆積を検討し、開口アスペクト10程度のトレンチで100%の高被覆かつ低抵抗なTiN電極膜を堆積できることを確認した。これらの新規に開発した立体ゲート電極プロセスを別途開発した10nm幅の極細線チャンネル構造と組み合わせることで、従来のスパッタによる電極形成に比べ配線抵抗を1/2以下に低減できることを示した。

・InGaAsをチャンネルとして用いたMOSFETにおけるMOS界面の高品質化のために、InPキャップ層や高誘電率ゲート絶縁膜の形成技術、及び、界面へのVI族元素導入技術を開発するとともに、Se処理、窒化処理、及び、絶縁膜形成初期過程における原料供給量制御の効果を明らかにした。InP基板上に成長したInGaAsチャンネル、および、Si基板上にAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>埋め込み層を介して形成した極薄InGaAsチャンネルにおいて、電気双極子揺らぎやラフネス等のキャリア散乱要因を同定し、移動度改善の指針を得た。埋め込み絶縁層の上に貼り合わせ法によって形成したInGaAsチャンネルにおいては、素子特性に影響を与えるカチオンオーダーリングの存在を見出した。CMOSプロセスへの適用を念頭に、InGaAsとNiの合金化によるソースドレイン形成の再現性と信頼性を高めるとともに、InGaAsとGeの集積を容易にするTiNコモンゲート構造によるトランジスタ動作を実証した。

・酸化物界面の化学反応を制御するナノ空間制御技術をコア技術として産業界との連携を促進し、メモリの高速低電圧化、集積可能性検証、動作信頼性評価手法の開発に成功した。

### 1-(3)-② ナノフォトニクスデバイスの研究開発

#### [中期計画]

・LSIチップ間光インターコネクションにおいて10Tbps/cm<sup>2</sup>以上の情報伝送密度を実現するために、半導体ナノ構造作成技術を用いて、微小光デバイス、光集積回路及び光、電子集積技術を開発する。また、3次元光回路を実現するために、多層光配線、電子回路との集積が可能なパッシブ及びアクティブ光デバイス、それらの実装技術を開発する。

#### [中期実績]

・第3期計画のLSI間光インターコネクション実現のために、化合物半導体フォトニック結晶微小光源・Si細線導波路結合構造の開発を進めQ値10000、光取り出し効率90%の構造設計を達成した。光源技術としては高効率な量子ドットレーザ開発を進め、最適構造を有する分布帰還型レーザや3次元光集積回路に適合した面出射型での発振も実現した。また、光インターコネクションに向けたポリマー光回路に関する研究を進め、同基板上へのLD光源実装、同基板上Cuマイクロミラー、同基板上1.3μm帯量子ドット面出射レーザ等を実現した。さらにアクティブポリマー光源の開発を目指した劣化の少ない加工条件を得て、有機結晶pn接合膜からなるEL素子の大幅な低抵抗化に成功した。光増幅能を有するポリマー光導波路に関しては、反転分布が可能な有機結晶を効率よく形成できる手法や条件を確立し、一部材料では、有機半導体ダブルヘテロ構造での光励起発振に成功した。ポリマー光回路上のマイクロミラー開発等は光電子ハイブリッド基板技術とともに、消費電力10%よりさらに大幅な削減を目指すNEDO-PJ「光エレクトロニクス実装」に組み込まれ、他の技術もそれぞれ産業応用を目指した基盤技術の構築に寄与した。

・シリコンフォトニクス集積プロセスを開発、個別デバイスや光集積回路等も開発したうえ、最終年度を2年前倒しで目標を大きく上回る情報伝送密度30Tbps/cm<sup>2</sup>を達成した。さらに、125°Cまで無調整で動作する光集積回路を開発した。世界最高性能の低伝搬損失アモルファスシリコン光導波路を開発し、多層光回路および電子回路等の段差構造上光回路の基本構造を実証した。加えて、多層光回路間の信号伝送デバイスおよび層構造光変調デバイスを提案、動作実証を行った。さらに、実装技術として、1300nm帯域のマルチモードポリマー光回路を開発し、25Gbpsのエラーフリー信号伝送に成功した。

### 1-(3)-③ オープンイノベーションプラットフォームの構築

#### [中期計画]

・産業競争力強化と新産業技術創出に貢献するため、ナノエレクトロニクス等の研究開発に必要な最先端機器共用施設を整備し、産総研外部から利用可能な仕組みを整えるとともに、コンサルティングや人材育成等も含めた横断的かつ総合的支援制度を推進する。当該施設の運転経費に対して10%以上の民間資金等外部

資金の導入を達成する。

[中期実績]

・産業競争力強化と新産業技術創出に貢献するため、ナノエレクトロニクス等の研究開発に必要な最先端機器共用施設を整備し、産総研外部から利用可能な仕組みを整えるとともに、技術相談や人材育成等も含めた横断的かつ総合的支援制度を推進した。当該施設の運転経費に対して 10%以上の民間資金等外部資金の導入を達成した。

・産総研スーパークリーンルームにおいて、共用環境を整備すると同時にシリコンフォトニクス集積プロセスを開発し外部利用を可能にした。100mmCMOS ラインに基づいたプロセス装置群では、シリコン上高品質ゲルマニウム結晶の成長装置を導入、選択成長技術を開発した。同時に、フォトニクスデバイス、フォトニクス回路に最適化したプロセスの開発を行った。これらにより世界最高の伝送帯域密度集積光電子回路を制作可能とした。また、300mm ラインでは液浸 ArF 露光装置の性能をフルに活用し、光導波路の形状に関して面内均一性の非常に高い光回路の作成プロセスを実現した。これらの結果、3 つの国家プロジェクトや共同研究、大学等のマルチプロジェクトウエハ等で活用された。

## 2. イノベーションの核となる材料とシステムの開発

[中期目標]

革新的な材料、システムを創成するため、ナノレベルで機能発現する材料、多機能部材ナノカーボン材料の量産化技術、マイクロ電子機械システムの開発を行う。

[中期計画]

我が国のものづくり産業の中心である製造業の国際競争力を強化するためには、革新的な材料やシステムを創成する必要がある。そのため、材料を革新するためにナノレベルで機能発現する材料及び部材の開発と、我が国が強い競争力を有するナノカーボン材料の量産化と産業化の推進を行う。また、高付加価値化による高度部材産業の国際競争力強化にも必要なマイクロ電子機械システム(MEMS)の開発を行う。

### 2-(1) ナノレベルで機能発現する材料、多機能部材 (I-4-(1)を再掲)

[中期目標]

ナノスケールの特異な物性を利用して機能を発現する新しい材料、多機能部材や革新的光、電子デバイス、高予測性シミュレーション技術の開発を行う。

[中期計画]

省エネルギーやグリーン・イノベーションに貢献する材料開発を通じてナノテクノロジー産業を強化するために、ナノレベルで機能発現する新規材料及び多機能部材の開発、ソフトマテリアルのナノ空間と表面の機能合成技術や自己組織化技術を基にした省エネルギー型機能性部材の開発を行う。また、新規無機材料や、有機・無機材料のハイブリッド化等によってもたらされるナノ材料の開発を行う。さらに、革新的な光、電子デバイスを実現するナノ構造を開発するとともにこれらの開発を支援する高予測性シミュレーション技術の開発を行う。

### 2-(1)-① ソフトマテリアルを基にした省エネルギー型機能性部材の開発

[中期計画]

・調光部材、情報機能部材、エネルギー変換部材等の省エネルギー型機能性部材への応用を目指して、光応答性分子、超分子、液晶、高分子、ゲル、コロイド等のソフトマテリアルのナノ空間と表面の機能合成技術、及びナノメートルからミリメートルに至る階層を越えた自己組織化技術を統合的に開発する。

[中期実績]

・実用的な色素・顔料として知られているフタロシアニンをベースとした液晶性半導体研究において、室温で正負両極性でかつドリフト移動度が  $1\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$  を越える高速移動度材料を見だし、変換効率 3.1%、外部量子収率 70%強の性能を示すバルクヘテロ型有機薄膜太陽電池の開発に成功した。この高性能化のために混和性等液晶の特徴を生かす研究を行い、光吸収波長の異なる同種の液晶相を取る液晶性有機半導体の混合系が、半導体特性を落とさずに光吸収波長域を可視光から近赤外光の領域まで拡大できる可能性を

見出した。また、n 型有機半導体との混合系である太陽電池活性層での n 型半導体の混和性の増強を分子設計により達成した。これらにより液晶の持つ特性を生かして混合系として半導体特性を維持し、更に光吸収、電荷分離の双方を制御できる可能性を見出した。一方、印刷工程に適した液晶性有機半導体インクを試作し、その半導体特性を評価するとともに、塗布工程による薄膜有機デバイス製造の検討を行った結果、電極構造および塗布工程の制御により、 $1\text{cm}^2$   $V^{-1} s^{-1}$  を超える高性能な電界効果型有機トランジスタ特性動作を実証した。

・光応答性分子、液晶、高分子などのソフトマテリアルの機能合成技術、自己組織化技術を統合的に開発し、省エネルギー型機能部材への応用を目指すことを目標とし、有機分子の分子設計・機能合成によりさまざまな光異性化・光相変化材料の開発を行った。その結果、これらの材料が CNT 分散剤や光可逆接着剤などへ応用可能であることを示し、機能性ソフトマテリアルの産業応用の基盤の構築を達成した。具体的には、CNT 表面との相互作用を光により制御できる分散剤を合成し、CNT 分散状態を光により ON-OFF する技術を開発した。これにより、CNT の透明電極応用の可能性を高めた。また、分子の会合状態を光により制御することで、室温で定温状態のまま固体-液体相変化する材料を開発した。さらに、この原理を利用することで、光可逆接着剤へ応用できることを示した。また、液晶と高分子微粒子および光応答性分子の自己組織化から形成する複合ゲルが光によりゲル-ゾル転移を示すことを見出し、材料の表面にできた傷を光照射で修復する技術を開発した。

・液晶、高分子、ゲル、コロイド等のソフトマテリアルの機能合成技術とナノメートルからミリメートルに至る階層を越えた自己組織化技術を統合的に駆使し、調光部材、情報機能部材、エネルギー変換部材などの省エネルギー型機能性部材の開発及びそれらを用いたデバイスの試作と評価を行った。平成 26 年度のケモメカニカルゲルのマイクロポンプ、金属層導入導電性ゲル及び軽量化軟骨部材の開発はソフトアクチュエータの実用的な展開への可能性を示した。重水素標識光学材料では、平成 24 年に有機電界発光素子の緑色発光効率 7%向上と 2.3 倍の輝度半減寿命を達成し、平成 26 年は青・赤発光性の重水素標識光学材料の合成と 10%強の耐光性向上に成功し、実用化段階に近づくことが出来た。異方性媒体やナノ粒子の配列化とデバイス応用では、異方性相互作用での配列が期待される異方性ナノ粒子の簡易合成に進展がみられたと共に、板状コロイドの配向配列や液晶コロイドによる電気光学効果を見出し、柔らかい調光部材の試作に成功した。平成 23 年度にはソフト微細構造界面(マイクロリンクル)と液晶との相互作用で発現する秩序構造を発見し、学術業績として国際的に非常に高い評価を受けた。

・高度な計測技術を駆使し、実用化研究の推進や技術研究組合および先端機器共用化への協力、さらには喫緊の解決課題に対して原理解明や計測手法の高度化を通じ、以下に示すような研究推進をサポートし、新規の知見を得た。SFG 分光を用い、有機デバイスの実動作状態でのデバイス内部挙動を、その場計測することに成功した。有機薄膜太陽電池や有機 EL 素子が劣化する時の状態変化の追跡や、加熱による膜構造の変化を、分子レベルで追跡することを可能とした。撥水・撥油性表面における界面分子挙動に関する知見を得た。電子顕微鏡を用い、高分子接着界面解析や有機太陽電池の相分離構造や結晶構造の三次元情報等、製品性能に関わる物性情報の定量解析を可能にした。また装置開発の観点からは、独自技術である吸引プラズマ加工装置の性能評価・信頼性向上に努め、同装置の国内外への普及展開の支援を行った。この様に、材料評価技術を通じて、ソフトマテリアルのナノ空間と表面・界面の最適化や物性情報を得る事により、さらなる高性能材料の合成技術や自己組織化技術に資する開発を行った。

・省エネルギー型機能性部材等への応用を目指した、ソフトマテリアルのナノメートルからミリメートルに至る階層を越えた自己組織化技術の開発を目標とし、以下に示す開発および検討を行った。1)ナノ粒子・高分子複合系において、球形ナノ粒子を含有する高分子混合系の相分離構造をシミュレーションすることに成功した。2)キラル液晶において、キラル液晶が薄膜中で形成するスカーミオン格子構造を初めて明らかにし、成果を、"Nature Communication"誌に掲載した。3)マイクロリンクル上の液晶構造における微粒子捕捉サイトの熱揺らぎの温度依存性について理論的な考察を行い、微粒子マイクロマニピュレータの温度制御に関して設計指針の提案を行った。4)ソフトアクチュエータ材料を目指した自励振動ゲルについて、その構造変化としての膨潤・収縮過程のダイナミクスについて散逸粒子動力学シミュレーションにより解析し、膨潤・収縮過程ができる限り平衡な過程として進むような材料設計が重要であるとの提案を行った。5)液晶性ドナー/フラーレン混合系界面の構造をシミュレーションし、当該材料を用いた有機薄膜太陽電池の特性を向上させるための材料設計指針を提案した。以上、個々の具体的な系において階層を越えた自己組織化のシミュレーションを可能とするモデルを開発し、当該技術の産業応用の基盤構築に繋げることができた。



## 2-(1)-② 高付加価値ナノ粒子製造とその応用技術の開発

### [中期計画]

・ナノ粒子の製造技術や機能及び構造計測技術の高度化を図ることにより、省エネルギー電気化学応答性部材、高性能プリンタブルデバイスインク、低環境負荷表面コーティング部材、高性能ナノコンポジット部材等の高付加価値ナノ粒子応用部材を開発する。

### [中期実績]

・本中期計画内は、特にプルシアンブルー型錯体ナノ粒子の応用として、放射性セシウム除染対策と、色変化素子の開発に従事した。前者においては、中期計画開始後に発生した原子力発電所放射能漏えい事故に対応するために緊急的に開始した。結果として、プルシアンブルー型錯体ナノ粒子という原料、それを粒状体や不織布担持体といった形に成形した吸着剤、それらを利用した環境水中放射性セシウム濃度分析用濃縮装置は、企業との連携の結果、上市に至った。また、植物系汚染物及び焼却灰の減容処理、ため池からの汚染拡散防止対策について、福島県内で大規模な実証試験を実施した。前者は飛灰洗浄技術研究会の技術資料策定へと貢献し、後者は農林水産省の対策マニュアルに具体例として記載された。色変化素子については電解質の改良などにより、1000時間の耐光性を達成した。また、1年超にわたる臨海副都心センターにおける展示などを行った。

・液中レーザー溶融法では、様々な無機材料に対してサブマイクロメートル球状粒子の生成が可能であることを実証した。本法で得られたサブマイクロメートル TiO<sub>2</sub> 球状粒子を、量子ドット型太陽光発電素子に光散乱層としてコーティングすることにより、10%の光電変換性能の向上を確認し、ZnO 球状粒子を用いた新規ラムダレーザーの作製にも成功した。気相中熱酸化法では、可視光光触媒等の応用に重要な NiO ナノ粒子の構造制御や、触媒利用が期待される単結晶の Au-NiO ヘテロ接合ナノ粒子の合成に成功した。マイクロミキサーおよびマイクロリアクターによる材料合成技術により、有機EL化合物の円板状ナノ粒子の連続合成に成功し、デバイス化に必要な平滑薄膜の作製に目途をつけた。また、難燃性と通常の発泡体よりも高い断熱性を持つ、複数の発泡ポリマーシリカナノコンポジットの作製に成功した。さらに、エネルギー貯蔵部材、有用物質回収部材として有望な有機無機ナノ多孔体(MOF)のナノ粒子の連続合成プロセスを開発し、市販品より大幅に小さい100nm以下の粒子径で狭い粒径分布を持つMOFナノ粒子を連続的に合成することに成功した。

・色素増感型太陽電池用対極材料に用いられる希少な白金の代替材料として、新規な導電性ナノコンポジット材料の開発を試みた。具体的には導電性に優れ、かつ大量合成技術が確立しつつある多層カーボンナノチューブ(MWNT)を用いた。太陽電池用対極を形成するに際し、MWNT 単体では賦形性が悪いいため、まずイオン液体(IL)を用いて MWNT の表面を改質した。しかしながら、この二元系組成物(IL-MWNT)は、MWNTの分散性は向上したものの、光電変換効率は白金に及ばなかった。そこで、導電性をさらに向上させるため、この IL-MWNT に導電性高分子(PEDOT:PSS)を混合し、コア・シェル型構造の三元系材料を開発した。このコア・シェル型三元系新材料を色素増感型太陽電池用対極材料として用いると、白金とほぼ同等の光電変換効率(4.77%)を示すことを見出した。

## 2-(1)-③ 無機・有機ナノ材料の適材配置による多機能部材の開発

### [中期計画]

・セラミックス、金属、ポリマー、シリコン等の異種材料の接合及び融合化と適材配置により、従来比で無機粉末量1/2、熱伝導率同等以上、耐劣化性付与の無機複合プラスチック部材、ハイブリッドセンサ部材、数ppmの検知下限で水素、メタン、一酸化炭素等をガスクロマトグラフなしで一度に計測可能なマルチセンサ部材等の多機能部材を開発する。このために必要な製造基盤技術として、ナノ構造を変えることなくナノからマクロにつなぐ異種材料のマルチスケール接合及び融合化技術を開発する。

### [中期実績]

・無機粉末の使用量を従来比の1/2としながらも、従来と同等以上の熱伝導率を有する無機複合プラスチックの開発を目標とし、無機粉末の形態制御プロセス、母材樹脂の秩序化プロセスの開発によって、目標の無機複合プラスチックの開発に成功した。開発した無機複合プラスチックを熱可塑性炭素繊維強化プラスチックの母材として適用することで、加熱時の熱伝搬が良好になり、部材の熱劣化抑制効果や高速成形へ応用できることが判明した。ハイブリッドセンサ部材の開発では、ナノレベルで触媒粒子の分散性を高めて集積化するこ

とにより、1ppm 検知で水素、メタン、一酸化炭素をガスクロマトグラフなしで計測可能であることを示した。また、SnO<sub>2</sub> ナノ粒子、SnO<sub>2</sub> ナノシートおよび触媒を複合化した複合型ガスセンサを開発し、呼気 VOC(ノナール)の高感度検知特性を確認した。開発センサは、ヘルスケア機器としての実証試験へ展開した。さらに、無機骨格と有機化合物の界面を利用して形態制御した単結晶ナノキューブを高次に適材配置し、ナノ材料自体と界面の機能が相乗した高性能小型デバイスの開発をすすめ、スーパーキャパシタ実現に向けた、マルチスケールでの材料設計指針を提示した。

## 2-(1)-④ ナノ構造を利用した革新的デバイス材料の開発

### [中期計画]

・ナノギャップ電極間で生じる不揮発性メモリ動作を基に、ナノギャップ構造の最適化と高密度化により、既存の不揮発性メモリを凌駕する性能(速度、集積度)を実証する。また、ナノ構造に起因するエバネッセント光-伝搬光変換技術を基に、ナノ構造の最適化により、超高効率な赤色及び黄色発光ダイオード(光取出し効率80%以上)を開発する。

### [中期実績]

・選択成長法による AlGaInP 微小リッジの作製技術を開発した。作製したリッジ構造ではエバネッセント光の干渉効果による発光強度の増大が観測され、本研究が基礎を置く原理が、可視光 LED において重要であるこの材料系においても成り立つことを確認した。裏面に銀ミラーを備えた AlGaInP 発光ダイオードへの本原理の適用や、リッジ構造よりもさらに大きいエバネッセント光干渉効果が得られる微錐台構造を作製する技術の開発を行い、高出力赤(黄色)LED として世界最高となる 51%(25%)および 60~70%(35~40%)の外部量子効率および光取出し効率をそれぞれ達成した。計画当初の目標である光取出し効率 80%には達しなかったが、共晶ボンディングの歩留まりの解決により光の内部損失の減少には成功しており、今後光取り出し効率が目標値に近づく可能性を見いだした。

## 2-(1)-⑤ 材料、デバイス設計のための高予測性シミュレーション技術の開発

### [中期計画]

・ナノスケールの現象を解明、利用することにより、新材料及び新デバイスの創製、新プロセス探索等に貢献するシミュレーション技術を開発する。このために、大規模化、高速化のみならず、電子状態、非平衡過程、自由エネルギー計算等における高精度化を達成して、シミュレーションによる予測性を高める。

### [中期実績]

・第一原理材料シミュレータ QMAS について、特にスピン軌道相互作用・ノンコリニア磁性を取り扱うための 2 成分スピノル形式電子状態計算機能、および最局在ワニエ軌道解析機能に重点を置き、開発・整備を進めた。また、希土類濃度の低い磁石化合物 NdFe<sub>11</sub>TiN の磁性を第一原理計算と結晶場理論に基づき調べ、Ti による磁化の顕著な低下と窒化による磁化と磁気異方性の増大の電子論的機構を解明した。また、仮想物質 NdFe<sub>12</sub>N が有力な磁石化合物であることを示唆した。さらに、鉄系超伝導体と関連物質 6 種類の第一原理有効モデルを導出し、構造や電子構造に類似性が見られるにもかかわらず、電子相関の強さに顕著な物質依存性があることを明らかにし、得られた有効モデルを LDA+DMFT 法で解析し、BaFe<sub>2</sub>As<sub>2</sub> ではホールドープ量が多い領域で「悪い金属(bad metal)」になることを見いだした。また、第一原理計算による様々な有機強誘電体の電子構造解明・自発分極値予測により、物質開発・性能発現のための指針を提示した。加えて、各種半導体の格子欠陥における陽電子状態・消滅パラメータを計算し、実験との比較検討により、試料中に存在する欠陥種を同定するに至った。

・電気化学界面シミュレーションの高精度化のために有効遮蔽媒質法において、非物理的な真空を取り除く改良、および現実的な電極電位一定の条件下で分子動力学シミュレーションを行う方法を開発した。水素発生光触媒の劣化機構の解明、カーボンエアロゲルを用いたスーパーキャパシタの性能向上へ向けた設計指針の提示を行った。燃料電池の新規炭化水素系電解質膜について、独自に開発した FEMTECK を用いた大規模計算により、低含水率条件下での低いプロトン伝導度の原因、および膜の化学的劣化機構を解明した。有機ケイ素材料開発において白金触媒を代替するルイス酸やニッケル錯体等の触媒候補物質の開発を促進した。分子動力学計算でのサンプリングと自由エネルギー計算を改善する LogMFD 法を考案し、生体分子系で高精度化を実証した。高性能水素貯蔵材料の開発指針を得るため、元素置換効果や量子力学的

状態の解析とともに、金属中の転移のシミュレーション技術を開発し、水素吸蔵特性の繰り返し劣化メカニズムを明らかにした。放射性セシウム除染に関連し、カラム除染特性およびため池底に蓄積した放射性セシウムの垂直分布を予測するソフトウェアを開発した。

・生体・分子機能の解析と予測のため、分子間相互作用の精密計算とそれに基づくモデリング技術の高度化、自由エネルギー計算の高精度化、力場開発を行った。エレクトロニクスやエネルギー変換等のデバイス用材料に対する電気伝導や発熱、熱の移動、熱電変換特性予測シミュレータ等を開発した。ゲージ不変 PAW 法、ボルン有効電荷の時間依存性追跡手法、効率的時間積分法等を開発・実装して第一原理分子動力学法の一層の精緻化と高速化を実現した。実験グループとの積極的な連携を行い、これらの手法を駆使して実験先導的なシミュレーションを実践した。生体分子、イオン液体電解質、カーボン材料、有機分子触媒等の分子認識機構、分子輸送特性、生体膜流動性、触媒設計指針等を解明した。熱電素子や有機、無機材料の不揮発性メモリの提案と実証、ナノサイズトランジスタの絶縁体や透明電極に用いるアモルファス金属酸化物の構造、ガラス融体の構造、有機分子の NMR、半導体中の複合欠陥生成機構等の計算を行った。酵素反応において基底状態の不安定化と遷移状態の安定化を巧みに併用する事で、高い酵素活性が発現する事を示した。

・FMO における精度向上と高速化、又はその超並列化を行った。高次相対論効果を取り込んだ実ポテンシャルを開発し、QM/MM の手法に基づく二段階超並列法を完成した。開発したプログラムを用い、蛋白質等の極小構造や分光データを第一原理計算で解析し、溶液中 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 分子の異性体化反応を解明し、企業との共同研究の糸口を得た。二層グラフェンによるチャンネルで、ゲート電圧を印加することによるバンドギャップの発生にてオンオフ操作ができることを提案した。FEMTECKコード高速化により、炭化水素系ポリマー電解質中プロトン伝導、LiBH<sub>4</sub> 固体中の Li の高い拡散係数を説明した。電気化学反応機構の鍵を握る水溶液中の赤外スペクトル解析を理論的に行った。CNT の光化学試験管としての用途を提案した。グラフェン層欠陥における電気伝導にて「谷分極電導」および「表面ランダウレベル」を理論的に予測しグラフェン透明伝導膜の電導機構を解明した。グラフェン端状態の STM 像を量子干渉効果として理論的に説明した。平成 24-25 年度には東北大・NEC との共同研究で、第一原理計算コードの高速化と光反応シミュレーションを行った。

・ナノ構造・界面に関するシミュレーション・理論解析技術を向上させ、ナノ磁気構造を用いた高効率なマイクロ波発振デバイス、超伝導体や半導体ナノ構造を用いた量子情報処理デバイス、ナノカーボン材料、有機太陽電池材料の設計と特性解析を行った。さらに、主に有機系材料に対するシミュレーション・理論解析を行った。具体的には、多環芳香族分子からなる有機固体について、結晶構造予測法の適用を検討した他、溶液からの構造形成に及ぼす主鎖と側鎖の効果を明らかにした。また、ブルー相液晶の薄いセルが示す秩序構造の光学的性質の解析を行った。シミュレーション技術では、ナノ粒子を高分子に分散させる際に重要となる混練プロセスを模したずりを印可できる手法の開拓を行った。さらに、無機太陽電池に対する理論を拡張することにより、従来指針が無かった有機薄膜太陽電池の光電変換効率の理論的な限界を求めることに成功した。

## 2-(2) ナノチューブ、炭素系材料の量産化技術と応用 (I-4-(2)を再掲)

### [中期目標]

従来材料より優れた様々な特性を有し産業化が期待されるカーボンナノチューブの大量生産技術の開発を行うとともに、透明導電膜、太陽電池、薄膜トランジスタへの応用技術の開発を行う。また、有機ナノチューブ、ダイヤモンド等の合成技術及び利用技術の開発を行う。

### [中期計画]

部材、部品の軽量化や低消費電力デバイス等への応用が可能なナノチューブや炭素系材料の開発を行うとともに、これらの材料を産業に結び付けるために必要な技術の開発を行う。具体的には、カーボンナノチューブ(CNT)の用途開発と大量合成及び精製技術の開発を行う。また、ポストシリコンの有望な新素材であるグラフェンを用いたデバイスを実現するため、高品質グラフェンの大量合成法の開発を行う。さらに、有機ナノチューブについては、合成法の高度化と用途の開発を行う。ダイヤモンドについては、大型かつ単結晶のウエハ合成技術の開発を行う。

### 2-(2)-① ナノチューブ系材料の創製とその実用化及び産業化技術の開発

#### [中期計画]

・カーボンナノチューブ(CNT)の特性を活かした用途開発を行うとともに産業応用を実現する上で重要な低コスト大量生産技術(600g/日)や分離精製技術(金属型、半導体型ともに、分離純度:95%以上;収率:80%以上)等を開発し、キャパシタ、炭素繊維、透明導電膜、太陽電池、薄膜トランジスタ等へ応用する。また、ポストシリコンとして有望なグラフェンを用いたデバイスを目指して、高品質グラフェンの大量合成技術を開発する。さらに、有機ナノチューブ等の合成法の高度化と用途開発を行う。

#### [中期実績]

・スーパーグロース法の実証プラントを立ち上げ、600g/日の生産能力を実現し、用途開発企業などに試料を200件以上提供し、協力企業による商業工業上市を実現した。低ダメージのCNTの乱流分散技術を開発し、分散体をフッ素ゴムと複合化することで95W/mKの高伝熱ゴムを実現し、企業の実用化研究のために技術移転した。銅と同程度の導電率(室温で $4.7 \times 10^5 \text{S/cm}$ )で、 $6 \times 10^8 \text{A/cm}^2$ 以上の耐電流密度を有するCNT銅複合材料を開発し、Nature Communication誌に掲載された。人体の動きを高速で測定できる歪みセンサーを開発し、Nature Nanotechnology誌に掲載された。eDIPS法で合成したSWCNTの構造制御を検討し結晶性をG/D比200以上に向上することにより、透過率92%シート抵抗325 $\Omega/\text{sq}$ (従来値:透過率89%で405 $\Omega/\text{sq}$ )まで、透明導電性フィルムの特性を達成した。eDIPS法単層CNTの分散液インクを用いた印刷製造技術により移動度 $10 \text{cm}^2/\text{Vs}$ 以上とオンオフ比 $10^6$ 以上の性能を有する薄膜トランジスタを実現した。

・CNT品質管理に資する、遠赤外吸収を利用したCNT長さ評価法および遠心沈降法を利用した分散液中のCNT凝集状態評価法を確立した。CNTを近赤外蛍光ラベルとして用いた免疫沈降反応に世界に先駆けて成功した。CNTとナノホーン、およびその表面に修飾を施したものに対して詳細に構造を解析した。また、生体関連物質あるいは生体との相互作用を詳細に調べ、低毒性であることを確認した。さらに、医療応用に関しては、生体透過性が高い近赤外光に対して光熱変換する性質を利用したユニークな医療応用が可能であることを示した。有機ナノチューブの合成法高度化技術では、平成24年度の抗がん剤の放出制御機能の開発、また平成26年度のゲルとの複合化技術の開発に成功し、これらより薬剤徐放型コンタクトレンズとしての有用性を明らかにした。また当初期待していなかった展開として、平成22年度にチューブナノ空間がタンパク質を安定化する機能を有すること、平成24年度に変性タンパク質を正常な立体構造に折り畳ませることにより活性を回復させる機能を見だし、医薬品産業等への応用可能性を示した。

・第3期はグラフェンの量産技術の開発を目標に、課題の調査とその解決に向けた方策の検討から開始した。各種合成法を試験し、高スループット合成の可能性が最も高い方法としてプラズマCVDを選択し、独自のプラズマCVDにより低温、大面積、高速のグラフェン合成を実証し可能性を確認した。この段階で静電容量型タッチパネルを動作させ応用の可能性を確認した。さらに送り速度1cm/秒のロールツーロール法による高速グラフェン合成を実証した。その後プラズマパラメータ、合成用基材、転写技術、安定したドーピング技術などすべての工程を再検討し、プラズマCVDで高速合成したグラフェンで熱CVDと同等の性能を達成しうることの確認および低抵抗化の方針を得た。その方針に基づき抜本的な導電性向上に向け、グラフェンの核発生密度と成長速度を制御し二次元成長を促進する手法を開発した。これにより結晶性と層数制御性を格段に向上し、結晶サイズを従来の10nm程度から100nm程度に拡大した。これに伴い従来 $100 \text{cm}^2/\text{Vs}$ 程度であった移動度を $1000 \text{cm}^2/\text{Vs}$ 以上に向上した。これと並行して成長初期段階の詳細観察に基づいてグラフェンの結晶性および層数制御性の格段の向上を達成した。さらに原子層グラフェンの転写技術およびドーピング技術を向上し、さらなる高導電性と高フレキシビリティを達成した。これにより透過率95%(2層)でシート抵抗130 $\Omega$ を達成し、移動度も $2000 \text{cm}^2/\text{Vs}$ 以上を実現、A4サイズの面積で透過率93%、シート抵抗300 $\Omega$ を達成した。

・単層CNTのエレクトロニクス応用の鍵となる金属型と半導体型のCNTの分離技術の開発を行った。産総研で独自に開発した、ゲルを用いた分離法を発展させて、カラムを用いた簡便な方法で大量分離(10g/day)を可能とした。分離純度95%、収率80%の中期目標を達成した。また、大量のCNT試料を少量のゲルに添加する新規カラム分離法を開発し、単一構造のCNTを大量に分離可能で、半導体純度が99%に達する分離手法を開発した。分離原理に関する基礎知見を得る一方で、応用開発を目指した研究も推進した。高品質半導体型CNTを用いた薄膜トランジスタで世界最高レベルの性能(移動度 $106 \text{cm}^2/\text{Vs}$ 、on/off比 $10^5$ 以上)を得た。分子内包によるCNTのp/n制御とこれらを組み合わせたCMOS型論理回路の動作実証にも成功した。

## 2-(2)-② 単結晶ダイヤモンドの合成及び応用技術の開発

### [中期計画]

・次世代パワーデバイス用ウェハ等への応用を目指して、単結晶ダイヤモンドの成長技術及び結晶欠陥評価等の技術を利用した低欠陥2インチ接合ウェハ製造技術を開発する。

### [中期実績]

・接合ウェハ作製プロセスにおいて、境界方向とオフ方向(ステップフロー方向)のずれを最適化することにより、接合境界上に発生する異常粒子や破壊を抑制するとともに、シミュレーションを併用したプラズマ均一化により、面積では2インチを上回り、世界最大の60×40mm<sup>2</sup>の接合ウェハを作製することに成功した。ダイヤモンドの結晶欠陥評価技術に基づく種結晶の選別技術を確立するとともに、表面損傷層の深さを同定し、エッチングによりこれを取り除く技術を開発した。さらに、低窒素濃度域での結晶成長条件を確立し、独自開発のウェハコピー技術(ダイレクトウェハ化技術)による低欠陥ウェハコピー条件を明確化した。低欠陥種結晶から、部分的に世界トップレベルの転位密度400個/cm<sup>2</sup>を有する低欠陥ウェハをコピーすることに成功した。以上の成果により、2インチ低欠陥ウェハ製造技術を開発した。

## 2-(3) 省エネルギー性に優れたマイクロ電子機械システム製造技術 (I-5-(4)を再掲)

### [中期目標]

センサ、光通信、医療・バイオ、自動車など多様な分野に適用が期待される小型、高精度で省エネルギー性に優れたマイクロ電子機械システムの低コストな大面積製造技術の開発を行う。

### [中期計画]

産業分野の省エネルギー化や環境負荷低減に貢献するマイクロ電子機械システム(MEMS)製造技術の開発を行う。具体的には、高機能なMEMSを安価に生産するための大面積製造技術の開発を行う。また、バイオ、化学、エネルギーといった異分野のMEMSデバイスを融合及び集積化する製造技術の開発を行う。さらに、安全・安心や省エネルギー社会実現に貢献するMEMSデバイスを利用したユビキタスシステムの開発を行う。

## 2-(3)-① 高集積、大面積製造技術の開発

### [中期計画]

・高機能で安価かつ大面積でのMEMS製造技術を開発する。具体的には、100nmより微細な3次元構造体をメートル級の大きさにわたり、低コストかつ低環境負荷でレジストや金属メッキ構造体、多結晶シリコン材料等を用いてMEMSを量産するための基盤技術を開発する。

### [中期実績]

・MEMS研究開発拠点整備として、大面積対応マスクレス露光装置、Si深掘ドライエッチング装置、大面積ナノインプリント装置等からなる8-12インチ対応MEMS製造ラインを整備し、ファンドリーとしての活用を図った。射出形成を用いた低コストのポリマーMEMS成型手法を開発し、MEMSミラーデバイスを試作し可変照明動作を実証した。多数チップの一括接合のために、キャリアウェハ上に置かれる微小デバイスチップを表面張力により自己整合する高速位置決め技術を開発した。表面活性化常温接合において、Ne高速原子ビームを使用することで表面清浄化に加え表面平坦化の効果もあることを見出した。光硬化型ブロック共重合ポリイミドにより低温インプリントを実現し、3μm幅の銅の微細埋込配線構造形成および100nm幅のサブ波長構造の形成に成功した。糸と糸の交差部の容量変化を検知する方式を採用し、メートル級の面積ファブリックMEMSセンサを開発し、測定対象物の材質に依存せず安定なセンシングが行えることを確認した。宇宙用X線望遠鏡作製のための大面積MEMS加工プロセスとメッキ応力によるウェハ湾曲制御技術を開発した。犠牲層膜リフトオフ法による超平滑表面により常温でのMEMS気密封止接合を実現した。これらの技術を活用することで、高機能で安価かつ大面積のMEMS製造が行える。

## 2-(3)-② ユビキタス電子機械システム技術の開発

### [中期計画]

・安全・安心や省エネルギー社会に資するユビキタスマイクロシステムの実現のために、バイオ、化学、エネルギー等異分野のデバイスを融合、集積化した MEMS デバイスを製造するための技術及び低消費電力かつ低コストな MEMS コンポーネント製造技術を開発する。具体的には、数ミリメートル角以内の通信機能付きセンサチップを試作し、オフィス、クリーンルーム等の製造現場の消費エネルギーを10%削減するためのシステム技術を開発する。

[中期実績]

・アモルファスシリコン蛍光検出センサにより高感度に生体分子を検出が可能な、異分野のデバイスを融合・集積化した集積型蛍光検出 MEMS デバイスと、安全で高効率な水素・酸素直接反応を実現する並列／多チャンネルマイクロリアクタを製造する技術を世界に先駆けて開発した。また、ファイバ型 MEMS コンポーネント製造技術に関して、異種材料電極によるセンサ作製技術および従来比約 10 倍の高スループット低コスト露光プロセスを開発した。さらに、低消費電力多値化技術などにより、微弱電波通信距離を 3 倍にし得る通信 LSI と、MEMS 技術を用いたフレキシブル電力センサ、及び 3.9mm 角の世界最小レベルの通信機能付き温湿度センサチップを実現した。そして、約 17,000 の無線電流センサ端末をコンビニエンスストア 2,000 店舗に設置して、世界でも最大規模のフィールド実験環境を構築するとともに、環境データを多点で観測することで、消費電力のムダを”機能/電力”の観点より判断し、必要な省エネ対策を明らかにできるシステムを試作し、社会実験により 10%以上の省エネに有効であることを実証した。

### 3. 情報通信基盤を利用したサービス生産性の向上と新サービスの創出への貢献

[中期目標]

我が国のサービス産業の生産性向上と新サービスの創出を目指してサービスプロセスを変革する情報技術、機械技術の開発を行う。

[中期計画]

我が国のサービス産業を活性化させるために、既存のサービスの生産性を向上させると同時に、新サービスの創出に貢献する技術の開発を行う。サービス生産性を向上させるために、サービスプラットフォームの整備、科学的手法の導入、ロボット化の推進を行う。また、複数の既存技術を融合させ、新サービス創出を目指す。

#### 3-(1) 科学的手法に基づくサービス生産性の向上

[中期目標]

サービスの生産性を向上させるため、現場の情報から利用者行動をシミュレーションし、サービス設計を支援するサービス工学基盤技術の開発を行う。

[中期計画]

科学的手法によりサービス生産性を向上させるために、サービス利用者及び提供者の行動を理解した上で、必要な情報の現場におけるセンシングと、得られた大規模実データのモデリングによる利用者行動のシミュレーションを基に、サービス設計を支援する基盤技術と導入方法論の開発を行う。また、サービス工学基盤技術については、10以上の業種や業態において25件以上の組織へ導入することを目指し、サービスの幅広い選択を可能にする技術の開発を行う。

##### 3-(1)-① サービス最適設計ループ構築のためのサービス工学基盤技術

[中期計画]

・サービス生産性向上を目的とし、サービス利用者及び提供者の行動を理解した上で、必要な情報を現場でセンシングし、得られた大規模実データをモデリングして利用者行動をシミュレーションすることで、サービス設計を支援するサービス工学基盤技術と導入方法論を開発する。再現性が検証された方法確立し、共同研究等により、10種以上の業種や業態において25件以上の組織への開発技術の導入を図り、その一般化と普及を目指す。

[中期実績]

・サービス利用者及び提供者の行動類型を定性的に把握するインタビュー方法論として認知的クロノエスノグ

ラフィを開発した。その行動の定量的大規模データを得るために、屋内環境での従業員行動計測技術を開発し、計算量削減とチップ化によりその消費電力を98%削減した。位置情報に加え従業員の業務ログ情報を収集し、従業員同士の議論を表現・可視化する技術を開発した。また、利用者行動の大規模データから利用者類型をモデル化する技術を開発した。災害時やイベント時に発生しうる状況を網羅的かつ効率的にシミュレーションする基盤技術を構築し、公共交通システム等4箇所以上の地域で実証した。オークション理論等により農水産物の流通制度設計を行い、社会実装した。環境センシング統合解析技術により、公共空間でのイベントの盛り上がり度情報の提供、及び農地土壌化学成分の時系列変化の提示等のサービス群を実現した。これらのサービス工学技術を、現場ニーズに基づいて適切に選定する導入方法論を構築しサービス設計支援ツールカタログとして公開した。22種の業種業態において56組織へ開発技術を導入し、サービス工学基盤技術の一般化と普及を促進した。

### 3-(1)-② サービスの幅広い選択を可能にする技術

[中期計画]

・公共性の高いサービス等が安全かつ標準的に利用できる環境の実現を目的として、利用者が自分自身で個人情報を管理でき、サービスの内容や価値に応じて複数のサービスが連携できるような標準的な技術を開発する。このサービスフレームワークの有効性を行政や医療や研究等の5種類のサービスにおいて実証する。

[中期実績]

・利用者が自らの個人情報を蓄積・管理し、必要に応じて第三者に開示することができる標準的な技術を開発した。そして、企業・大学・自治体との共同研究を通じ、エネルギー管理、医療・介護、行政システム、分散ソーシャル・ネットワーキング・サービス(SNS)、研究コミュニティ支援のフィールドで実証を行い、個人データの分散管理による新サービス創出への有効性を検証した。具体的には、1)太陽光発電における発電量を監視するサービス、2)介護記録を介護機関と家族で共有するサービス、3)住民の個人情報を利用した行政サービス、4)各個人利用者が本人のコンテンツを管理するSNS、5)ユーザー参加型の学会サービス、の5つのサービスにおいて、分散管理された個人データの相互利用によるサービス連携が有効であることを確認した。

### 3-(2) 高度情報サービスプラットフォームの構築

[中期目標]

サービスの生産性を向上させるためのクラウド型等の情報プラットフォーム技術の開発を行う。

[中期計画]

サービス生産性を向上させるために、利用者の利便性及び生産性とサービス提供者の資源利用効率を共に高めるクラウド型プラットフォームの開発を行う。また、スケーラブルな知識基盤を構築しうるミドルウェアの開発を行い、地球科学や生命情報科学等のE-Science分野において10ペタバイト(10の16乗)程度のデータを対象とした実証実験を行う。

#### 3-(2)-① クラウドの適用範囲を広げるミドルウェア技術

[中期計画]

・クラウド型情報インフラをより広い用途に適用可能にするために、個々の利用者に提供される仮想インフラに専有ハードウェアと同等の利便性を持たせ、さらに負荷に応じて再構成可能とする技術を開発する。具体的には、仮想インフラの性能保証方式、仮想インフラの資源利用状況モニタリング技術、管理組織にまたがる仮想インフラ動的再構成技術を開発する。開発された技術が10以上の複数管理組織から提供される10,000以上の資源にまで適用可能であることを示し、高精細映像配信等の応用で動作を確認する。

[中期実績]

・クラウド型情報インフラをより広く適用するために、以下の研究開発を行った。帯域保証ネットワーク予約技術、サーバのI/Oに対する仮想化オーバーヘッドの低減技術、性能保証ストレージ技術を開発し、仮想インフラの性能保証を実現し、高精細映像配信等の応用で動作を確認した。また、仮想インフラの資源利用状況モニタリング技術を開発した。異種クラウド間で連携する管理組織にまたがる仮想インフラ動的再構成技術を開発

し、ローカルなプライベートクラウドに対し遠隔地のデータセンタが透過的に資源を提供する HaaS モデルを提案し、そのプロトタイプシステムを構築した。HaaS モデルを用いて、IaaS クラウドサービスの遠隔データセンタへの移動を可能にするインタークラウド資源管理システム Iris の機能拡張設計を行った。開発された技術が 10 以上の複数管理組織から提供される 10,000 以上の資源にまで適用可能であることをシミュレーションにより確認した。

### 3-(2)-② スケーラブルな知識基盤を構築するサービス指向ミドルウェア

#### [中期計画]

・サービスの高度化、大規模化を支えるスケーラブルな情報処理基盤の実現を目的として、データ所在の仮想化やメタデータの付与等により、分散したエクサバイト(10の18乗)級のデータを構造化できるデータ統合ミドルウェアを開発する。地球科学や生命情報科学等の E-Science 分野において10ペタバイト(10の16乗)程度のデータを対象とした実証を行う。成果普及のための国際標準を提案する。

#### [中期実績]

・サービスの高度化、大規模化を支えるスケーラブルな情報処理基盤の実現を目的として以下の研究開発を行った。データ所在の仮想化やメタデータの付与等により、分散したエクサバイト級のデータを構造化できるデータ統合ミドルウェアを開発した。限られた時間内で動的に処理を変えつつベストエフォートで解答を求めるデータ統合検索手法によりエクサバイト級データに対応するスケーラビリティを実現し、検索・解析・更新といったデータ操作の連携の最適化を達成した。データ構造化のためにデータベースを基盤とした機械学習を実現するスケーラブルなデータ解析ミドルウェアを開発した。地球科学や生命情報科学等の E-Science 分野において、GEO Grid(約 1000 万レコード、3 ペタバイト)での実運用を行うと共に、数組織の連携(約 10 ペタバイト)を想定した実証実験を LOD 上で行って最終的な実用性を確認した。国際標準化団体 OGF において LOD 検索のための分散アクセス規格を策定、OGC において地理空間メタデータ検索のためのアクセス標準を提案した。

### 3-(3) サービスの省力化のためのロボット化(機械化)技術

#### [中期目標]

サービス産業へのロボット導入に当たって必要となるロボットの自律移動技術や、ロボットによる物体の把持技術、ロボットと人とのインタラクション技術の開発を行う。

#### [中期計画]

ロボットの導入により、サービス産業の生産性と品質向上を目指す。また、人の QOL を向上させるために、人の生活行動や操作対象のモデル化技術、ロボットの自律移動技術やロボットによる物体の把持技術、ロボットと人とのインタラクション技術の開発を行う。特に、生活支援ロボット基盤技術として1日の人の行動様式の50%以上、数十平方メートルの生活環境の80%以上、操作対象を30個以上記述可能な人間観察モデル化技術の開発を行う。

#### 3-(3)-① QOL 向上のための生活支援ロボット基盤技術

##### [中期計画]

・自律性の高い生活支援システムの社会導入に向けて、1日の人間の生活行動の50%以上、数十平方メートルの生活環境の80%以上、操作対象を30個以上記述可能な人間観察モデル化技術を開発する。高齢化社会における QOL 向上を目指し、家庭や施設等における実用レベルの生活支援ロボットを開発する。具体的には、家庭や施設等での行動解析に基づき必要となる支援サービスを定義し、屋内のあらゆる地点で精度5cm 以内の精度を有する屋内移動技術、15種類以上の日常生活用品を対象とした物体把持技術、予備知識を必要としない高齢者とのインタラクション技術等を開発する。

##### [中期実績]

・レーザー距離からの人追跡において、3次元モデルからの複数仮説検定による追跡手法を開発し、さらに、人体寸法データベースを参照して人を認識することで、従来技術では発見困難であった不整地環境で、しゃがんだ状態など様々な姿勢での人追跡を実現した。加えて、人に付随する台車・自転車・自動車等の他の移



動物体も識別できるようにすることで、人の1日の生活行動の約50%の観測を実現した。人の日常生活行動を自動記述する手法を開発し、イベント会場、実験室など数十から数百平米の空間の80%のエリアで人間行動のログが得られることを実証した。平面上に置いたり、取り上げた物体を距離画像から検出し、日常生活物体の形状と模様を学習し、オンラインで位置姿勢を発見する手法を確立し、50個の物体で有効性を確認した。

・高齢化社会におけるQOL向上を目指し、実用レベルの生活支援ロボットの開発、要素技術の開発、および評価技術の開発を行った。具体的には、まずビデオタグ付けツール、日常生活の課題から機能要件を整理するための「開発コンセプトシート」、等の開発を行い、生活行動分析に基づく支援サービスの定義を行った。また、実用的な生活支援アームを開発し、そのベンチマークタスクを策定し評価を行った。平成25年度からは、経済産業省・厚生労働省が定めた介護ロボットに関する重点分野に対して評価基準等を策定し、企業により開発された50種類以上のロボットの評価を行った。生活支援ロボットの要素技術としては、レンズアレイを用いたマーカ技術や、レーザースキャナを用いた屋内幾何モデル生成・マッチング手法を開発し、屋内移動ロボットの位置決め技術として5cm以内の精度を達成した。物体把持技術については、100種類の日用物品について構成するパーツと扱い方の観点から分類・モデル化と把持技術の開発を行った。高齢者とのインタラクション技術については、モデルを逐次的に改善する設計支援ツール・妥当性を検証するツールを開発し、対話効率の改善を実現した。

・高齢化社会におけるQOL向上を目指し、実用レベルの生活支援ロボットの開発、要素技術の開発、および評価技術の開発を行った。具体的には、まずビデオタグ付けツール、日常生活の課題から機能要件を整理するための「開発コンセプトシート」、等の開発を行い、生活行動分析に基づく支援サービスの定義を行った。また、実用的な生活支援アームを開発し、そのベンチマークタスクを策定し評価を行った。平成25年度からは、経済産業省・厚生労働省が定めた介護ロボットに関する重点分野に対して評価基準等を策定し、企業により開発された50種類以上のロボットの評価を行った。生活支援ロボットの要素技術としては、レンズアレイを用いたマーカ技術や、レーザースキャナを用いた屋内幾何モデル生成・マッチング手法を開発し、屋内移動ロボットの位置決め技術として5cm以内の精度を達成した。物体把持技術については、100種類の日用物品について構成するパーツと扱い方の観点から分類・モデル化と把持技術の開発を行った。高齢者とのインタラクション技術については、モデルを逐次的に改善する設計支援ツール・妥当性を検証するツールを開発し、対話効率の改善を実現した。

### 3-(3)-② サービス産業のためのロボット自律移動技術

[中期計画]

・サービス産業を省力化するためのロボット基盤技術を開発する。具体的には、人間と協働する搬送や清掃等のサービスロボットを安全に運用するための機能安全国際規格 SIL に適合可能なビジョンセンサ技術、土木や農業等の屋外移動作業システムを精度20cm以内で高精度移動制御する技術等を開発する。

[中期実績]

・配送作業、土木作業等のサービス産業を省力化するためのロボット基盤技術を開発した。ビジョンセンサ技術については、単色波線パターンの投影によるワンショット形状計測法を開発し、屋外移動ロボットで利用可能な高密度形状計測システムを実現した。また、ロボット用センサの人検知性能評価のための屋外環境シミュレータとして、模擬降雪装置等を開発した。また、機能安全国際規格 IEC61496 の光干渉試験を屋外に拡張した試験方法を開発し、各種ビジョンセンサを用いた光干渉試験、視程低下試験を実施しており、現在 ISO13482 の環境認識性能試験として提案中である。なお、産総研で開発するビジョンセンサで、直接 SIL を取得することは困難であることから、国際規格への対応については「試験方法を開発・提案する」方向に修正した。建設機械等の自律移動作業技術については、積込み点での計画経路からの横ずれを平均で約2cm、標準偏差約10cm、最大誤差20cm以内を実現し、さらに掘削対象の計測技術の開発、海底熱水鉱床の採掘技術や災害調査技術として、傾斜地での移動・掘削制御、および掘削後の堆積形状の変化のシミュレーション技術を開発した。

### 3-(4) 技術融合による新サービスの創出

[中期目標]

既存の技術を融合することによる新サービス創出に取り組む。メディア処理とウェブでのインタラクションを融合したコンテンツサービスの創出、情報技術と災害軽減、危機管理、環境保全、資源探査などの技術を融合した地理空間情報サービスの創出、メディア技術とロボット技術を融合した人間動作の模擬技術の創出に取り組む。

[中期計画]

既存の技術を融合させることで新サービスの創出を目指す。具体的には、メディア処理とウェブでのインタラクションの融合によるコンテンツサービス、情報技術と災害軽減、危機管理、環境保全、資源探査等の技術を融合した地理空間情報サービス、メディア技術とロボット技術の融合による新たなサービスの創出を目指す。特に新サービス創出のためのヒューマノイド技術として、ヒューマノイドロボットによる段差1cm、傾斜2度以上の凹凸のある床面の平均時速3km以上の歩行を実現する。

### 3-(4)-① メディア処理技術とインタラクション技術を融合したコンテンツサービス創出、利活用技術

[中期計画]

・コンテンツを一層身近で手軽に活用、創造できる新サービスを創出するために、ユーザによるコンテンツ利活用を促すインタラクション技術と、コンテンツの生成、加工、認識、理解等を可能にするメディア処理技術を高度化し、融合する。具体的には、ユーザを対象とした実証実験等を通じて、コンテンツの検索、推薦、鑑賞及び制作、エンタテインメント、ユーザインターフェース等に関する融合技術を開発し、新サービスを3種以上創出する。

[中期実績]

・コンテンツを一層身近で手軽に活用、創造できる新サービスを創出するために、ユーザによるコンテンツ利活用を促すインタラクション技術と、コンテンツの生成、加工、認識、理解等を可能にするメディア処理技術を高度化し、融合した。具体的には、ユーザを対象とした実証実験等を通じて、コンテンツの検索、推薦、鑑賞及び制作、エンタテインメント、ユーザインターフェース等に関する融合技術を開発し、Web上の楽曲を解析する能動的音楽鑑賞サービス、関係性を可視化する音楽視聴支援サービス、動画音声データに対する全文検索サービス、不定形情報に対するデータ構造構築サービス、検索クエリを共有可能にするクエリ推薦サービスの5種を創出したことで、新サービスを3種以上創出する目標を達成した。

### 3-(4)-② 地理空間情報の高度利用技術と新サービス創出

[中期計画]

・地理空間情報の新サービスを創出するため、多種多様な地理空間データへの統一的アクセスサービス等の基本サービス群を開発し、整備する。さらに応用システムの構築を容易にするための再利用可能なミドルウェアを開発し、提供する。これらにより、災害軽減、危機管理、環境保全、資源探査等に関する応用システムを4件以上構築し、実証実験を実施する。

[中期実績]

・多種多様な地理空間データへの統一的アクセスを実現するために、CSW/WMS/WCSといった国際標準に基づく基本サービス群を開発／整備した。またこれらの基本サービス群を用いて応用システムの構築を容易にするため、再利用可能なミドルウェアとして Lavatube を開発し、共同研究を通じたサービス提供を行った。こうした基本サービス群およびミドルウェアを活用することで、G-ever 火山防災予測システム(災害軽減)、QuiQuake(面的震度予測による災害軽減)、GRIAS(鉱物資源探査)、放射線モニタリング(危機管理)、衛星観測物理量・土地被覆・標高の公開版検証システム(環境保全)といった5個の応用システムを構築・提供し、地理空間情報の新サービス創出の実証実験を行って有効性を確認した。

### 3-(4)-③ 新サービスの創出のためのヒューマノイド基盤技術

[中期計画]

・ヒューマノイド技術を活用した新サービスの創出を目的として、メディア技術との融合によりコンテンツ産業を支援するロボットサービス、人動作解析技術等との融合による人動作模擬サービス等を創出するヒューマノイ

ド基盤技術を開発する。具体的には、全身動作、表情及び音声を統合した振舞の生成、段差1cm、傾斜2度以上の凹凸のある床面の平均時速3km以上の歩行、簡易な指示による未知環境の移動や簡易作業、高齢者等の人動作の模擬等を実現する技術を開発する。

#### [中期実績]

・全身動作、表情及び音声を統合した振舞の生成が可能な統合ソフトウェア Choreonoid を開発し、サイバネティックヒューマン HRP-4C を用いたダンスパフォーマンス他により、ヒューマノイド技術とボーカロイド等のメディア技術を融合したコンテンツ産業を支援するロボットサービスを試行した。段差 1cm、傾斜 2 度以上の凹凸のある床面を平均時速 3km での歩行については、新たに開発した不整地歩行技術により、ヒューマノイドロボット HRP-2 の脚長を 0.1m 伸張したロボットモデルで実現できることを動力学シミュレーションで確認した。簡易な指示による未知環境の移動や簡易作業については、広視野ステレオビジョンによる環境認識と、認識結果を取り込む遠隔操作インターフェイスを開発し、移動ならび簡易作業を実現した。高齢者等の人動作の模擬等を実現する技術については、人動作をヒューマノイドにより再現する汎用的技術と、異なる体型・姿勢を生成するシミュレーション技術を融合して実現し、これを用いて移乗動作を支援するロボット介護機器による腰部や脚部の負担低減効果の定量的評価を行う人動作模擬サービスを試行した。

### 3-(5) 情報基盤における安全性や信頼性の確立

#### [中期目標]

IC カード等のハードウェアや基幹ソフトウェア等の情報システムのセキュリティ対策技術、信頼性検証技術など情報基盤の安全性評価技術の開発を行う。

#### [中期計画]

情報システム製品のセキュリティ評価技術を確立するために、情報システムにおける事故を未然に防ぐとともに事故が起きても被害の拡大を防ぐセキュリティ対策技術、情報基盤自体を高信頼なものにするための検証法や開発支援ツール及び情報基盤の安全性評価に関する技術の開発を行う。特に、情報システムの高信頼、高安全及び高可用化技術において、基盤情報システムの大半を占める1兆状態以上のシステムに対するテストケース自動生成技術の開発を行う。

#### 3-(5)-① 情報システム製品のセキュリティ評価技術 (IV-3-(1)-⑥へ再掲)

#### [中期計画]

・IC カードに代表されるハードウェアや基幹ソフトウェア等、情報システムの中核をなす製品の脆弱性分析や安全性評価に関して、現行の制度、標準や新たな評価制度を見据えた技術を開発する。また、当該技術等について、我が国の電子政府推奨暗号評価等での活用を実現する。さらに、それらの技術等を実システムに組み込み可能な暗号ライブラリに適用し、安全性検証済みライブラリとして公開する。

#### [中期実績]

・IC カード、暗号機能内蔵 LSI、FPGA といった、情報システムのセキュリティを担う重要なハードウェア要素に対し、レーザを用いた侵襲攻撃やサイドチャネル非侵襲攻撃に関する評価技術の構築を進めた。評価環境プラットフォームとして、従来より機能や性能を高めた標準評価ボード SASEBO-GII/GIII/RII/W、ZUIHO、MiMICC、さらには高精度磁界スキャナを開発した。また、我が国の電子政府推奨暗号のうち ISO/IEC 18033-3 で指定される国際標準暗号を、従来より微細化を進めた 65nm テクノロジーの LSI に実装し評価を行った。FPGA についても微細化の影響評価を行い、微細化に伴い電力解析よりも電磁界解析が優位となることを示した。また、次期標準ハッシュ関数 SHA-3 の複数の候補アルゴリズムを FPGA に実装し評価環境を構築するとともに、策定委員会で意見を述べ SHA-3 策定に貢献した。国際標準化や評価制度への貢献活動として、非侵襲攻撃に関する国際標準の審議や暗号ハードウェア評価制度に技術的意見を反映させたほかセキュア M2M モジュールのモデル仕様を策定した。

・安全性評価技術の暗号ライブラリへの適用のため、C 言語プログラムの定理証明支援系による形式検証に向けて、実システムに組み込み可能な暗号プロトコル TLS の検証ライブラリの充実、洗練を行い、TLS の実装が仕様を満たすことを効率的に証明する仕組みを完成させ、Web サイトから安全性検証済みライブラリとして公開した。また、C 言語とアセンブリ言語の意味論の関係を検証するためのライブラリの構築や、暗号処理

プログラム実装の暗号学的安全性の形式証明にも応用した。さらに、情報理論の基礎となるシャノン定理の形式化を完成させ、情報理論の形式検証基盤を公開した。その他に、実システムへの形式手法の適用事例として、JR 東日本との共同研究で鉄道保安装置の形式化と検証を行った。また、ソフトウェアの適合性検査を自動化、効率化する仕組みについても、詳細な仕様を記述する言語を設計し、TLS 標準プロトコルの初期化処理を対象に、参照実装と 2000 件以上の意図的な異常通信を自動生成し、既存実装の網羅的検査を行ない複数の誤りを発見した。

・開発が進む量子鍵配送システムについて、将来的に立ち上げが期待されている評価認証制度においてその安全性の検証を実効的に行うための技術開発を行った。具体的には、生成した鍵の性質に基づいて安全性の評価を可能にする手法として、コロモゴロフ複雑性を基礎とする安全性証明の定式化を達成した。さらに、市販されている量子鍵配送システムの多くに含まれていた光子検出器用光ダイオードの応答特性に起因する脆弱性に関し、ダイオードのカスケード的配置による対策を提案、あわせて本対策による鍵生成レートの低下の影響の見積もりを行った。また、これらの知見等に基づき民間企業との共同研究を実施し、量子鍵配送技術の普及を目的とした安全性の評価について、従来の暗号技術との類似点や相違点を考察し、従来の暗号技術に用いられてきたホワイトリスト型のチェック項目を用いた安全性評価手法の有効性を示した。

### 3-(5)-② 情報システムの高信頼、高安全、高可用化技術 (IV-3-(1)-⑦へ再掲)

#### [中期計画]

・情報システムの形式モデルベーステストによるケース自動生成技術を開発してシミュレーション技術への統合を図り、実社会の基盤情報システムの大半を占める1兆状態以上のシステムに対して、技術の有効性を検証する。さらにシステムの設計、開発、試用、改変、譲渡、廃棄までのライフサイクルの各場面で適用すべきテストや検証法のガイドラインを策定し、評価技術を開発する。また、設計と開発を中心にシステムのライフサイクルを支援するツールチェーンを開発する。

#### [中期実績]

・情報システムの検査工程の高信頼化、高効率化のため、形式モデルに基づくテストケース自動生成技術に取り組み、FOT テスト仕様記述を設計し、ツールとして実装、既存技術と比較してより高速により高い網羅率のテスト生成をする技術を開発し、産業界へ向けた技術移転を行った。情報システムのモデル検査技法の洗練について、検証クラスタ「さつき」等を用いて、1兆個の状態を持つシステムに対して、モデル検査技術を適用し、実際のソフトウェアの問題を発見できることを実証した。また、ライフサイクルの各場面で適用すべきテストや検証法について事例調査を実施し、報告書にまとめるとともに、消費者機械策定において、モデルベースによる規格策定方法論を確立した。設計と開発を中心にシステムのライフサイクルを支援する安全・信頼性規格として、概念(メタ)モデルから規格を策定し、ディペンダビリティケースによるシステム保証を中心とした、消費者機械向け規格をとりまとめ、OMG 規格策定の最終段階 (Finalization Task Force) に進めた。

・「設計と開発を中心にシステムのライフサイクルプロセスを支援するツールチェーン」の開発のため、標準基礎知識体系 SWEBOK に基づく開発プロセスの概要・標準・ツールに関する調査を行って高度 IT 人材向け育成課程講義資料形式の報告書としてまとめた。また、個別組織がプロセスを実装する際の支援となる開発プロセス展開パッケージと開発プロセスの改善を支援するプロセスアセスメントキットを、小規模組織向けソフトウェアライフサイクルプロセスの国際規格に基づいて開発した。これらの成果に関して、共同研究先である筑波大学「高度 IT 人材育成のための実践的ソフトウェア開発専修プログラム」での利用を通じて妥当性の確認を行うとともに、普及を図った。

## IV. イノベーションの実現を支える計測技術の開発、評価基盤の整備

#### [中期目標]

広範囲にわたる産業活動を横断的及び共通的に支援するため、基盤的、先端的計測技術の開発を行うとともに、得られた知見を戦略的にデータベース化し、また、試験評価方法の標準化により評価基盤を構築する。

#### [中期計画]

イノベーションの実現と社会の安全・安心を支えるために必要な、基盤的、先端的な計測及び分析技術並びに生産現場に適用可能な生産計測技術の開発を行う。また、信頼性ある計測評価結果をデータベース化

し、産業活動や社会の安全・安心を支える知的基盤として提供する。さらに、製品の安全性や適正な商取引、普及促進に必要な製品やサービスの認証を支える評価技術の開発を行い、試験評価方法の形で提供するとともにその標準化を行う。

## 1. 技術革新、生産性向上及び産業の安全基盤の確立のための計測基盤技術

### [中期目標]

産業活動を支援するためのツールとなる計測評価技術、先端計測及び分析機器の開発を行うとともに、それらの標準化を推進する。また、計測技術を発展、統合させて、生産性向上をもたらす課題解決策(ソリューション)として生産現場に提供する。

### [中期計画]

先端的な技術開発を支援するために必要となる分解能、応答性に優れた材料計測、解析、評価技術及び安全の基盤として必要な構造物診断技術等の計測、解析、評価技術の開発を行う。また、それらの産業界への普及と標準化を行う。さらに、製品の品質と生産性を高めるうえで重要な、生産現場で発生する計測にかかわる技術の開発を行うとともに、開発した計測、解析、評価技術を統合し、現場に直接適用可能な計測ソリューションの提供を行う。

### 1-(1) 産業や社会に発展をもたらす先端計測技術、解析技術及び評価基盤技術

#### [中期目標]

材料、部材及び構造物における損傷、劣化現象等の安全性及び信頼性の評価にかかわる計測技術の研究開発を行うとともに、産業界に提供する。特に、有機、生体関連ナノ物質の状態計測技術、ナノ材料プロセスにおける構造と機能計測及び総合解析技術の開発を行う。

#### [中期計画]

産業や社会に発展をもたらす先端的な技術開発を支援する計測、解析、評価技術の開発を行う。具体的には、有機材料、生体関連物質における分子レベルの評価に必要な計測技術の開発を行う。また、ナノレベルからマクロレベルにわたり俯瞰的に材料の構造と機能を評価できるナノ材料プロセス計測及び解析技術の開発を行う。さらに、安全性及び信頼性評価における基盤技術として必要な、構造物診断を可能にする計測、解析及び評価基盤技術の開発を行う。これらの成果を、技術移転等を通じて産業界に普及させる。

#### 1-(1)-① 有機・生体関連ナノ物質の状態計測技術の開発

##### [中期計画]

・社会的に関心の高い有機又は生体関連物質等ナノ物質を評価するために、飛行時間型質量分析法による分子量測定、円二色性不斉分子の分析等による分子構造解析、分子イメージング等の計測技術を開発し、8件以上の技術移転を実施する。

##### [中期実績]

・超伝導検出器と単一磁束量子時間デジタル変換器を搭載した高分解能質量分析装置、および多試料自動交換により溶液試料の計測が可能な卓上型の高感度真空紫外円二色性計測装置を開発して実証した。また、実験室レベルの小型電子加速器を用いた位相コントラスト低被爆 X 線イメージングの医療応用技術、および高強度テラヘルツイメージングによる薬物検出技術を開発して実証した。さらに、直接レーザーイオン化質量分析法による植物体の生体分子イメージング技術、イオン液体を用いた SIMS 分析用新型イオン源と顕微鏡法を用いたナノ材料の安全性評価技術を開発して実証した。超伝導検出器、波長変換技術、標準校正用試料、線量計関係などの知財の契約実施で、新規 9 件の技術移転を実施した。

#### 1-(1)-② ナノ材料プロセスにおける構造及び機能計測並びにその統合的な解析技術の開発

##### [中期計画]

・ナノ材料・デバイスの広範なスケールにおける構造及び機能に関する計測技術の開発及び多変量解析等の情報の統合的な解析技術を開発する。サブナノメートルからミリメートルオーダーの機器分析情報の中から、

二つ以上のスケールの情報を統合し構造と機能の関係の定量化技術を開発する。

[中期実績]

・陽電子欠陥計測、軽元素 X 線分光、過渡吸収分光、イオン化量子操作・質量分析技術、精密結晶構造解析などの先端計測技術を高度化し、これまでは測定が困難だった測定範囲、測定感度、解析精度での計測を可能にした。また、原子レベルの構造情報が得られる陽電子や電子ビーム計測のマイクロ～ミリメートルオーダーのマッピング情報を統合解析し、原子レベルの微視的な構造とマクロな材料の変化の関係を定量的に解析する技術を開発した。新規超伝導体等の材料解析の成果で受賞など高い評価を受けるとともに、NEDO 超ハイブリッド材料プロジェクトでは陽電子・固体 NMR・統合解析等により材料のパフォーマンスを阻害する要因を解明してプロジェクトの成功に貢献した。

さらに、高度化した先端計測技術を機器公開し応用に繋げるとともに、平成 26 年度より開始した SIP プロジェクト(革新的構造材料、革新的設計生産技術)や未来開拓プロジェクト(光触媒、磁性材料開発)等に参画し、計測技術で材料開発を牽引することになった。

### 1-(1)-③ インフラ診断技術の開発

[中期計画]

・構造物安全性確保に資する迅速かつ高精度、可搬性に優れた健全性評価システムを開発する。超音波探傷装置や可搬型 X 線検査装置を活用して構造物中におけるサブミリメートルサイズの欠陥情報のその場可視化技術を開発する。

[中期実績]

・1) 超音波伝搬状況を可視化するシステムを開発し、電子部品・デバイスなどのサブミリサイズ(最小検出能: 径 20 マイクロメートル、深さ 0.1 ミリメートルの穴)の内部欠陥をその場で非接触探傷できる検査装置を開発、製品化した。また超音波励起、受信を完全非接触としたシステムも開発し、高温環境や狭溢部材の超音波検査を可能にした。さらに平成 23 年度からモアレを利用した構造物の変形分布計測技術を開発し、宇宙構造物や橋梁に適用して、従来の計測手法と同等の精度で従来は困難であった変形分布を計測した。

2) カーボンナノ構造体を用いた X 線発生技術を高度化し、現場に持ち込むことが可能なバッテリー駆動小型 X 線検査システムを開発し、サブミリサイズの構造の検査を可能にした。

社会課題であるコンクリート構造物内部の高精細可視化手法について、電子加速器技術と放射線計測技術を用いた後方散乱 X 線イメージングシステムの開発を開始した。

### 1-(1)-④ 蓄電池構成材料の評価及び解析技術の開発 (I-2-(1)-①を一部再掲)

[中期計画]

・新規の蓄電池構成材料の開発を加速するため、材料を共通的に評価、解析する技術を開発する。

[中期実績]

・世界的シェアを有する国内企業を含む二十数社からなる、革新的な電池材料や評価技術の開発を行うための拠点を構築した。5 種類の電池構成モデルに加えて、4.35V 高電圧電池、Ni リッチ高容量電池の 2 種を基本型の派生評価法として評価法に加え、これらの精査を行うとともに、電池の安全性試験として、圧壊、釘刺し、昇温、過充電の試験条件や観察法などを基本手順書に加えてその測定法の改訂を進め、評価基準書最終版として取りまとめた。

### 1-(2) 先端計測技術及び分析機器の開発

[中期目標]

新たな産業技術の創出と発展を促進するため、材料評価、デバイス、システム評価のための先端的計測技術及び分析機器に関する研究開発を行うとともに、それらの標準化を推進する。

[中期計画]

新産業創出を先導するために必要な、先端計測及び分析機器に関する技術開発を行う。具体的には量子ビーム、イオンビームの分析、診断への応用技術、電子顕微鏡の高分解能化と多機能化技術、デバイス、システム評価を可能にする複合計測技術等の開発を行う。また、開発した装置の産業界への普及を促進すると

ともに、標準化を行う。

### 1-(2)-① 材料評価のための先端計測及び分析機器開発

[中期計画]

・ポジトロンや超伝導検出器等の量子ビーム、イオンビーム等の材料及び生体の検出、分析及び診断機器への応用を実証するとともに標準化を行う。6件以上の装置公開利用、8件以上の技術移転を実施する。

[中期実績]

・陽電子を利用した材料中欠陥分析技術、超伝導検出技術を応用した X 線吸収分光分析装置や巨大分子質量分析装置、可視近赤外過渡吸収分析技術、リアル表面プローブ顕微鏡技術などを開発して材料分析に適用できることを実証した。陽電子プローブマイクロアナライザー装置、超伝導蛍光収量 X 線吸収微細構造分析装置、可視・近赤外過渡吸収分光装置、リアル表面プローブ顕微鏡装置、固体 NMR 装置、イオン価数弁別質量分析装置および極端紫外光電子分光装置の 7 件の開発装置と技術を、産総研だけでなく企業や大学などの研究者に公開して多様な計測に応用した。この際、単なる計測支援だけでなく複数の共同研究や受託研究等に発展させた。NMR スペクトルに関する標準データベース整備、表面プローブ顕微鏡技術を高度化する AFM 探針の評価法と校正法などの標準化を進めた。陽電子分析装置などの知財契約実施で、新規 15 件の技術移転を実施した

### 1-(2)-② 超高感度、高分解能透過電子顕微鏡の研究開発

[中期計画]

・単分子・単原子レベルでの計測及び分析技術を確立するために電子顕微鏡のさらなる高分解能化及び高感度化技術を開発する。このために、電子光学系の高度化、検出器の高効率化、装置環境の高安定化等の要素技術開発に加え、用途に応じた電子顕微鏡の多機能化を行う。これにより、現在、電子線波長の 25 倍程度でしかない空間分解能を、世界最高となる電子線波長の 17 倍程度にまで向上することを目指す。

[中期実績]

・単分子・単原子レベルでの計測及び分析技術を確立するために低加速電子顕微鏡および付随する要素技術開発を行った。より洗練された電子光学系を実現するために、新しい高次収差補正および色収差補正技術やダブルウィーンフィルタを搭載した単色光源などを開発し、電子顕微鏡のエネルギー分解能を従来の 300 ~ 400 meV から 25 meV まで一桁以上向上させた。検出器などの改善により元素分析における検出効率は単原子検出の SN 比において従来の 4 ~ 5 倍程度向上した。これにより低次元物質中のドーパントや不純物の同定が可能になった。また装置環境の安定化に取り組み低加速電子顕微鏡の総合性能の向上を実現した。これらにより、電子顕微鏡の空間分解能を世界最高となる波長比 17 倍にまで向上させ、目標であった加速電圧 30 kV におけるカーボン単原子の可視化を実現した。

### 1-(2)-③ デバイス、システム評価のための先端計測機器の開発

[中期計画]

・スピントロニクスデバイスにおけるナノ領域のスピン方向を 3 次元解析できるナノスピン計測技術を開発する。

高速トランジスタとして期待されるナノカーボンの電気的特性のナノサイズ領域の電荷分布測定を行なえるプローブ顕微鏡技術を開発する。

電圧及び抵抗標準を生産現場に導入でき、校正コストの削減を可能とする小型、低コスト、低消費電力の直流電圧標準システムと集積回路チップ化された電流比較器を開発する。

スーパーハイビジョン時代の大容量位相多値光通信や材料の加工、改質の実現のために、サブフェムト秒の時間分解能を有する光測定技術を開発する。そのためにタイミングと絶対位相が 100 アト(10 の -16 乗)秒以下に同期された多波長極短パルスレーザーを開発する。

[中期実績]

・スピントロニクスデバイス内の局所スピン方向を 3 次元で実空間解析できるナノスピン計測技術を開発した。まず、中性ビームによる試料表面清浄化技術を開発することにより、絶縁基板上に微細加工されたスピントロ

ニクス材料の分析を可能とし、サブミクロンスケールで安定化されるスピン分布の可視化に成功した。また、低エネルギー粒子線を利用した低ダメージ表面ミリング技術を開発し、厚さ 1nm まで極薄化された薄膜スピントロニクス材料のスピン情報検出が可能であることを実証した。粒子線の高密度化により、多層化された薄膜材料を超低速ミリングしながら層毎のスピン情報を分析する技術を開発し、多層膜の内部スピン方向を 1nm の精度で分析可能な手法を確立した。これらの技術を複合化し、ナノスケールで設計された多層デバイス構造のスピン状態の直接分析を実現した。

・走査容量顕微鏡を用いて、高速トランジスタとして期待されるナノカーボンにおける電気的特性のナノサイズ領域の電荷分布測定を行うことが可能なプローブ顕微鏡技術を開発した。すなわち、ヘリウムイオン顕微鏡を用いてヘリウムイオンをグラフェンの数十ナノメートルスケールの領域に照射することにより、照射領域のグラフェンが金属-絶縁体転移を起こして数十 nm の領域に電荷が局在している様子を、開発した技術により測定することに成功した。さらに、その効果を応用して 2 重量子ドットなどのデバイス構造を直描することが可能であることを示した。

・標準計測器ラックに収納可能なラックマウント型電圧標準を開発した。具体的には、小型冷凍機の適用可能な温度 12 K で安定動作する窒化ニオブを電極材料とする 65,000 個のジョセフソン接合素子から成る基準電圧発生チップを開発し、小型冷却装置、室温回路とともにラックに収納するとともに、専門知識のないユーザが簡単に操作可能なソフトウェアを開発し組込んだ。完成システムを工業技術センターや企業での巡回試験に供し、試験結果を開発にフィードバックすることで、外来雑音への十分な耐性と 0.2 ppm 以内の精度を実証した。システム技術を民間企業に移転し、核となる産総研発基準電圧チップを外部へ販売できる体制を築いた。加えて、被測定電流配線、検出用超伝導量子干渉素子(SQUID)、磁気遮蔽を薄膜で構成した集積型電流比較器(ICC)チップを設計・試作し、従来型バルク電流比較器の 1/2 以上の電流検出効率を得た。また、ICC の電流比較誤差の一因である配線と SQUID の磁気干渉を 3 桁低減することにより、7 桁の精度を実現した。

・大容量位相多値光通信に用いられる Er ファイバーレーザー、及び材料の加工、改質に用いられる Yb ファイバーレーザーについて、時間基準となるフェムト秒 Ti サファイアレーザーとの同期、外部 RF 信号への同期、及び長時間安定化の技術を開発し、波長域 830nm-1550nm で 0.3fs 時間分解能の光波形、位相測定技術を開発した。Yb ファイバーレーザーでは、さらに 50  $\mu$ J、30W のタイミング同期された高出力を実現し、太陽電池モジュール加工に応用して、極短パルス加工の熱劣化抑制効果を電池効率から確認した。多波長極短パルスレーザー開発においては、Ti サファイアレーザーと Cr フォルステライトレーザーでタイミングと位相の同時長時間同期に成功し、相互タイミングジッターを最高 83 アト秒まで抑制した。また、同期した異波長極短パルスレーザーからの 637、850、1270nm 光の非線形相関計測によって 3 波長合成を実証し、合成精度を評価した。さらに、応用に向けて 3 波長極短パルス光のサブ  $\mu$ J パラメトリック増幅の技術も開発した。

### 1-(3) 生産性向上をもたらす計測ソリューションの開発と提供

#### [中期目標]

産業界における製品の品質と生産性の向上の基盤となる生産計測技術の開発を行い、計測にかかわる総合的な課題解決策を提供する。

#### [中期計画]

製品の品質と生産性を高める上で必要となる欠陥や異常検出技術、高圧下等の測定が困難な条件下における計測技術、微量試料での精密化学分析技術等の生産計測技術の開発を行う。開発した計測、解析及び評価技術を統合し、新たな検査方法の確立等、生産現場へ直接適用可能な計測ソリューションとして提供する。様々な生産現場の課題解決に取り組み、8件以上のソリューションを提供する。

#### 1-(3)-① 生産現場計測技術の開発

#### [中期計画]

・エレクトロニクス産業等の生産現場で求められている製品の各種欠陥や異常等の検出、発生防止、及び生産の高効率化を目指した、実用的なソリューションを開発し提供する。10件以上の生産現場の課題解決に取り組み、3件以上のソリューションを提供する。

#### [中期実績]



・1)Si ウェハ表層微小欠陥の検査技術開発に取組み、開発装置を企業へ移植した。2)半導体基板の電極高さ計測システム開発に取組み、装置を製品化した。3)プリント基板の金メッキの目視検査の自動化と標準化に取組み、小型検査装置の開発による自動評価技術の実用化と、評価法の規格原案を IEC に提案した。4)自動車エンジン部材の検査の自動化に取組み、検査システムを開発した。5) 高機能ガラス基板ガラス表層欠陥検査技術開発に取組み、Si ウェハ検査法の応用により検査装置化した。6)インライン静電気可視化に取組み、集束音波を用いた可視化技術を開発した。

・1)導電性高プラズマ耐性材料の開発に取組み、開発材を上市した。2)新規のプラズマインピーダンス計測技術の開発に取組み、計測器を製品化した。3)圧電体センサ内蔵したウエハステージの開発に取組み、異常放電の高感度検出に成功した。4)ミニマルファイブ用の Si 貫通ビア形成用プラズマエッチング技術の開発に取組み、磁束を用いた新方式の装置開発に成功した。

### 1-(3)-② 測定が困難な条件に適用可能な力学計測技術の開発

#### [中期計画]

・測定が困難な条件下における広帯域圧力振動計測技術、応力可視化技術を開発し、産業や社会の現場に適用可能なソリューションとして提供する。5件以上の産業や社会の課題解決に取り組み、3件以上のソリューションを提供する。

#### [中期実績]

・1) 高温用 AlN 圧電体薄膜振動センサの開発に取組み、700℃で使用可能な圧電体薄膜振動センサを開発し技術移転した。AlN 圧電体薄膜デバイス・センサ開発に取組み、広帯域共振子、無侵襲・脈拍センサなどを企業と共同開発した。2)鉄鋼圧延工場の金属溶湯内使用のセラミックロールの摩耗モニタリング技術開発に取組み、摩擦摩耗状態モニタリング技術の確立を進めた。3) 半導体後工程ワイヤボンディングの不良検出技術開発に取組み、不良品発生インライン検知システムの構築を進めた。

・1)高効率応力発光体の開発に取組み、アルミン酸塩応力発光体の製造に成功し技術移転した。2)構造体の常時欠陥モニタリングの高精度・効率のための応力発光記録システムの信頼性向上に取組み、歪蓄積量を視認可能なシステムを構築した。3)高圧水素容器の破壊予知技術の開発に取組み、破壊前兆を捕え得る可視化技術を開発した。4)希少なレアアースを含まない応力発光体の開発に取組み、新規の応力発光体 CaZnOS の合成に成功した。

### 1-(3)-③ 微量、迅速、精密化学計測技術の開発

#### [中期計画]

・マイクロ空間化学技術等を用いた分析、計測及び解析技術を開発し、バイオ、化学、素材関連産業分野におけるソリューションを提供する。5件以上の産業や社会の課題解決に取り組み、2件以上のソリューションを提供する。

#### [中期実績]

・1)簡易検査試薬として金ナノ粒子上への各種抗体の担持方法開発に取組み、新規分子認識材料の金ナノ粒子上担持による歯周病検査キットを製品化・上市した。2)蛍光ナノ粒子の最適製造条件探索システムの開発に取組み、マイクロ流路を用いた最適製造条件探索用コンビナトリアルシステムを開発、技術移転した。3) 蛍光ナノ粒子の高効率な機能発現のための最適分散条件探索システムの開発に取組み、最適分散条件探索用コンビナトリアルシステムを構築し、技術移転した。4)マイクロ流路を用いたオンチップ卵細胞の分離技術の開発に取組み、高効率分別法を開発し、実証を進めた。5)マイクロ流路を用いた牛精子のオンサイト分離技術の開発に取組み、高効率の精子分離技術を開発し、実証を進めた。6) マイクロ流路を用いたタンパク質単一の結晶の作製技術の開発に取組み、特定タンパク質の単一結晶作製技術を開発した。

・焼酎醸造企業と共同で、「焼酎醸造、及び焼酎蒸留残渣処理技術の高度化(マイスター課題)」に取り組み、まず、産総研・計測フロンティア研究部門が実用化に向けて開発を進めている。可搬型 X 線装置が、メタン発酵設備の閉塞状況の計測やモニタリングする装置として有効であることを示した。また、元素分析技術、タンパク質計測技術、遺伝子解析技術により、メタン発酵設備の可溶化液、メタン発酵汚泥、及び排水ピット液に観られる沈殿物が、主に MAP 結晶であること、また、これに加えて、タンパク質成分、メタン発酵に参与する微生物、その微生物の分泌物により形成されるバイオフィルム、さらに硫化鉄が、MAP 結晶の成長過程で複

雑に結合した結果、黒褐色という特異な様相を呈する固い沈殿物になったものと考えた。その根拠として、産総研が開発に関与したケイ酸チタニアの酸化・還元作用により、①沈殿物中のリン、マグネシウム、タンパク質が分解・遊離すること、②沈殿物中の微生物が分解されること、③沈殿物中の黒色の硫化鉄が酸化されて黄褐色の Fe<sup>2+</sup>が遊離すること、などを明らかにした。さらに、メタン発酵汚泥サンプルの微生物叢を解析できる PCR-DGGE 解析技術を新たに構築した。

## 2. 知的基盤としてのデータベースの構築と活用

### [中期目標]

先端産業技術の開発と社会の安全・安心のための基盤となる重要な計測評価データを蓄積し、データベースとして産業界と社会に提供する。

### [中期計画]

標準化の推進、地質情報等の有効利用、災害事例の共有、ものづくり支援等のために、信頼性(評価方法、不確かさ、出典等)を明示した各種データベースを構築、整備する。構築したデータベースは、上記に関わる知的基盤として、更新を保証しつつ継続的に社会に提供する。

### 2-(1) 標準化を支援するデータベース

#### [中期目標]

標準化を支援し、産業技術の基盤となる物質のスペクトル、熱物性等のデータベースを構築し、提供する。

#### [中期計画]

基準認証活動を進めるにあたり、関係者が共有すべき定量的情報をデータベースとして整備し提供する。具体的には国家計量標準にトレーサブルで、不確かさが評価されている等、信頼性が明示された物質のスペクトル、熱物性等のデータを拡充し継続的に提供する。

#### 2-(1)-① スペクトルデータベースの整備

##### [中期計画]

・有機化合物等のスペクトルデータを測定するとともに解析及び評価を行い、検証されたデータ5,000件を新たに収録し公開する。

##### [中期実績]

・有機化合物の H-1 核と C-13 核の核磁気共鳴、赤外分光ならび質量スペクトルデータを測定するとともに解析・評価を行い、検証されたデータとして平成 26 年度の目標数 1,255 件を上回る 1,303 件を新たに収録し、うち 962 件を新規にウェブに公開した。日本国内で入手可能な標準物質のデータベース(RMinfo)を所の研究情報公開データベースからもアクセス可能にし、適切な運用管理を行った。国際標準物質データベース(COMAR)の国内事務局として、ドイツの中央事務局と連絡を取りつつ、情報を適切に管理した。

#### 2-(1)-② 熱物性を中心とした材料計量データベースの整備

##### [中期計画]

・材料の熱物性及び関連物性について、不確かさ評価等により信頼性の保証されたデータセット100組以上を新たに収録し継続的かつ安定的に提供する。

##### [中期実績]

・固体材料(バルクの金属、セラミクス、ガラス、炭素材料、金属薄膜、透明導電膜など)の熱物性(熱膨張係数、比熱容量、熱拡散率など)及び関連する物性について、不確かさ評価等により信頼性の保証されたデータセット 114 組を分散型熱物性データベースに収録し、公開した。データベースサービスを安定的に提供可能とする公開環境実現のため、データベースシステムをクラウド環境に移行した。本中期 5 年間の内、クラウド環境への移行に伴う2週間の作業期間を除きデータベースを閲覧可能な状態に維持し、サービスを継続的かつ安定的に提供した。これにより毎年 100 万前後のアクセスを記録した。同時に産総研物質・材料データバンクポータルサイトをはじめ、外部サービスとの連携強化に向けて、分散型熱物性データベースのメタデータを

検索し、提供するプログラムインターフェースを整備した。

## 2-(2) 資源等の有効利用を支援するデータベース

### [中期目標]

資源等の有効利用を支援するために必要な地質、環境、地図情報などをデータベース化し、利用しやすい形で提供する。

### [中期計画]

地質情報等と衛星画像情報等を統合化したデータベースを整備し、資源等の有効利用を支援するために利用しやすい形で社会に提供する。また、情報通信速度の向上や画像処理技術の進展に応じて、新たなデータを統合してデータベースとして提供する等の高度化対応を行う。

### 2-(2)-① 衛星画像情報及び地質情報の統合化データベースの整備（別表2-1-(3)-①を再掲）

#### [中期計画]

・衛星データ利用システム構築に資する衛星画像情報を整備し、地質情報との統合利用により、鉱物資源のポテンシャル評価や火山、地震、津波等の災害情報等に利活用する。また、情報通信技術との融合により、シームレス化、データベース化された地質情報と衛星画像情報の統合化データベースを整備し、新たな視点の地質情報を抽出するための利活用方法の研究を実施する。

#### [中期実績]

・経済産業省の開発してきた衛星搭載光学センサ(JERS-1 OPS、ASTER) およびレーダーセンサ(JERS-1 SAR、PALSAR) の全衛星画像情報のアーカイブを整備し、地質情報との統合利用により資源探査や減災といった分野での利活用を行った。また国際標準に基づくメタデータ検索システムおよびクラウド上で動作するスケーラブルな処理システムを開発し、合計 3PB を超える膨大な衛星センサのアーカイブデータを、地図と完全に重なる高次レベル画像に変換した。この衛星画像情報とシームレス化／データベース化された地質情報の統合化データベースを構築した。このデータベースの統合利用により、鉱物資源のポテンシャル評価や火砕流の到達範囲予測、高精度な面的地震動の予測といった具体的な利活用の研究を行った。

・整備された衛星画像情報を利用した各種ベースマップおよびデータベースシステム作成のための以下の研究開発を行った。

1) 天然色全球マップ作成において、平成 22 年度から研究開発に着手し、平成 23 年度以降は地域ごとにシーン間色調整なしの全球マップの作成および高品質な色調整を行った。平成 26 年度において全球約 3 万 2 千のタイルとして整備し、WMS 配信するためのシステムの構築を行った。

2) 全球都市マップ作成において、平成 22 年度および平成 23 年度にアルゴリズムおよびその検証手法を開発し試作を行った。平成 24 年度以降は、位置情報を持った人口統計情報を追加適用、都市域マッピング・クラウドソーシングシステムや精度向上のためのアプリケーションを開発し、その精度を向上させた。

3) 地理情報管理のためのシステムにおいては、平成 22 年度にプロトタイプを開発、また、そのソフトウェア知財登録を行った。平成 23 年度以降は利用実証および試験利用を開始、ユーザインターフェースを改良し、ASTER データ検索機能や地質データを追加した。最終的にユーザからのフィードバックをもとに改良を加えて、平成 25 年度にシステムを完成させた。

・野外調査の情報の電子化を行う上で効率的な方法についての情報収集と検討を行い、情報の電子化を行う際に必要なツールである iPhone 版クリノメーターの機能の追加開発を行った。iPhone 版クリノメーターは、調査の効率化に有用なソフトウェアであり、その開発において、より使いやすいものになるよう配慮し、ソフトウェアの機能の修正と便利な機能を追加した。主な開発内容は、英語版のインターフェイスと説明の追加、デジタル式表示デザインの追加、編集データ並べ替え機能の変更、データ保存機能を不安定状態で保存できるように変更、水準器の動作機能の修正、走向傾斜のコピー＆ペースト機能の追加、インターバル測定機能の追加、線構造測定機能の追加、面構造と線構造を同時に表示・記録する機能の追加、スマートフォンが裏返しの状態で磁北を示す機能を追加した。

## 2-(3) 社会の持続的な発展を支援するデータベース

[中期目標]

環境・エネルギー技術、社会の安全・安心及びものづくりの基盤となる重要なデータを集積し、データベースとして提供する。

[中期計画]

持続可能で安全・安心な社会の構築に必要な、環境・エネルギー、災害事例、ものづくり支援等に関するデータを集積し、技術基盤情報としてそれらを出典やデータ選択及び評価の基準とともに公開し、社会に継続的に提供する。

2-(3)-① 環境・エネルギー技術を支えるデータベースの整備

[中期計画]

・環境負荷低減、低炭素社会に資する超臨界流体等の環境・エネルギー技術の基盤となる情報を整備し、社会に提供する。超臨界流体データベースには3,500件(特許2,000件、文献1,500件)のデータを提供する。

[中期実績]

・環境負荷低減、低炭素社会に資する技術として超臨界流体の環境・エネルギーへの適用に関する基盤情報を整備するため、超臨界流体利用技術に関係した新たな特許出願および論文等の調査を実施し、第3期中に超臨界流体データベースに対して新たに4100件(特許出願データ約2300件、論文データ等の文献データ約1800件)を追加し、中期計画の目標値である3500件を大幅に上回った。以上のデータを集積し適切に管理することにより、環境・エネルギーやものづくり支援等に関する技術基盤情報のデータベースとして社会に公開し、半年間で16万件以上の極めて多くのアクセスを受けるにいたった。

2-(3)-② 社会の安全・安心を支えるデータベースの整備

[中期計画]

・災害事例、医療応用技術等、国民の安全・安心に係る技術上の情報を整備し、社会に提供する。災害事例データベースには約1,250件の新規事故事例、約25件の新規事故詳細分析事例、約100件の過去の重大事故詳細分析事例を登録する。

[中期実績]

・災害事例データベースの一つであるリレーショナル化学災害データベースに約1,250件の新規事故事例、約25件の新規事故詳細分析事例、約100件の過去の重大事故詳細分析事例を登録することが目標であったが、平成22年度から平成26年度の5カ年で新規事故事例2031件、新規事故詳細分析事例23件、過去の重大事故詳細分析事例95件を登録し、目標を達成した。同時に平成22年度には廃棄物処理関連施設、平成23年度には原子力関連施設、平成24年度には繊維工業や金属加工業など事故発生業種の対象範囲を拡大して、情報の収集、分析、登録を実施した。また、平成25年度にはリレーショナル化学災害データベースを物質・材料系データバンクと連携させるためにクラウドサーバに移行し、クラウドサーバ上で運用を継続した。

2-(3)-③ ものづくりを支えるデータベースの整備

[中期計画]

・材料特性、人体特性等、産業技術開発力を支える基盤的な情報を整備し、社会に提供する。

人体寸法、形状データベースには独自データを500以上拡充するとともに海外の企業、研究機関等からもデータを求め(欧米3ヶ国以上、新興産業国3ヶ国以上)、広範な地域の人体寸法にアクセスできる情報ハブを構築する。

セラミックカラーデータベースには2,500件のデータを登録する。

固体 NMR データベースには450件(スペクトルデータ300件、パラメータデータ150件)のデータを登録する。

[中期実績]

・人体寸法/形状データベースとして全身・足形状など 510 件の独自データを蓄積した。日本企業の国際競争力を高めるための新興国の体形データベースとして、新興国の研究機関への計測技術移転やデータ処理技術移転を通じ、平成 23 年度にメキシコ、24 年度に中国、25 年度に台湾のデータを獲得した。さらに、先進国のデータとして、先進国の研究機関との双方向のデータ交換やデータ処理技術移転を通じ、平成 24 年度にスペイン、オランダ、平成 26 年度に米国のデータを入手した。これらのデータについては、人体寸法・人体形状の統計処理を施した上で、必要に応じ計測方法などの文章を翻訳して統計量とともにデータベースとして整備し、コンソーシアム参加企業に公開した。

・セラミックカラーデータベースに従来型の登録新規データ 2800 件以上を準備した。平成 25 年 10 月までは、新規登録データを含めて研究情報公開データベースにおいて一般に公開し、平成 22～24 年度の間に約 15 万件のアクセスがあった。平成 25 年度より物質材料データバンクへの移行を計画し、セラミックカラーデータベースおよび釉薬テストピース整理・新規データ作成のための元データベースの再構築版の設計を行った。セラミックカラーデータベース設計構築当時に比べ、インターネット環境が進歩していることから、再構築版では従来非公開として内部蓄積していたデータを公開対象とするとともに検索機能および検索結果表示機能を充実させ、その実現のために必要なデータ項目新設などの改良とデータ内容精査や誤り修正作業を実施して、約 15000 件のデータを公開可能とし、再構築したデータベースを一般に公開した。

・固体 NMR スペクトルデータベースの拡充に継続的に取り組み、24 年度末の段階ですでに目標値(スペクトル 300、パラメータ 150 件)を上回る、それぞれ 926、403 件を登録して計画を完了した。加えて、新たな課題として爆発性化学物質の結晶構造データベースの構築に着手し、20 種の重要な物質について 31 の相の結晶構造データの登録を行なった。

### 3. 基準認証技術の開発と標準化

#### [中期目標]

材料、製品、サービスの商取引に必要な適合性評価技術の開発を行うとともに、民間における適合性評価事業の育成を推進する。

#### [中期計画]

新たに生み出された素材、製品、サービス等の認証に必要な技術の開発を行い、普及させる。具体的には、性能、安全性を客観的に評価し、新市場の開拓や適正な商取引に必要な試験技術の開発、実証及び標準化と、それに伴う認定技術の民間移転を、産業界、認証機関等との密接な協力のもとに実施する。

#### 3-(1) 適合性評価技術

#### [中期目標]

新技術の事業化を促進するため、民間では困難な性能や安全性に関する実証に取り組む。また、新規の素材、製品、サービス等の社会普及を促進するため、商取引、規制において求められる性能、安全性等に関する適合性評価技術を開発し、そのような評価技術の民間移転に積極的に取り組み、民間による適合性評価機能の強化を図る。

#### [中期計画]

試験技術の開発、実証、標準化において、特に安全性や性能にかかわる評価技術、及び製品規格への適合性を判定するための評価技術は、中立性及び公平性の面から民間のみで開発することが困難であることを考慮し、認証において必要となる適合性評価技術の開発を行う。同時に民間移転を推進する。

#### 3-(1)-① 物質の分析・評価技術の開発と標準化

#### [中期計画]

・物質の分析及び特性評価を超高温環境下等、実際の測定環境に適用するため、必要となる光温度計による計測技術等を開発し、その標準化を行う。得られた技術の普及を図るために4件の JIS 化を目指す。

#### [中期実績]

・物質の分析・評価技術における喫緊の標準化課題に取り組む、数値目標の対象に JIS よりも優位な国際規格 ISO を含めた。期初から超高温物性計測技術、ナノ形状計測技術および材料中の不純物分析技術の 3 つ

の課題に取り組み、また、平成 24 年度からは炭素繊維、平成 25 年度からは微細気泡に関する特性評価と標準化を目指した研究開発を実施した。その結果、超高温熱膨張計測装置を開発するとともに、AFM 探針先端の形状評価法ならびに校正法、ジルコニア中副成分のイットリア分析手法、マグネシウム中不純物酸素の分析手法などを開発し、JIS 1 件、ISO 2 件の発行、ISO1 件の審議開始（現在、作業原案[Working Draft]として審議中）に結びつけた。

### 3-(1)-② 太陽光発電の共通基盤技術の開発及び標準化（Ⅰ-1-(1)-①を再掲）

#### [中期計画]

・太陽光発電システム普及のための基盤となる基準セル校正技術、高精度性能評価技術、屋外性能評価技術、信頼性評価技術、システム評価技術、システム故障診断技術等を開発し、それらを産業界に供給する。性能評価の繰り返し精度を1%以下に向上させる。

国内企業の国際競争力の向上に資するため、国際的な研究機関や企業と協調、連携し、IEC 等の国際規格や JIS 等の国内規格、工業標準の提案、策定、審議に参画する。

#### [中期実績]

・超高温黒体炉を用いたスペクトル精度向上等により、基準セル校正における分光放射光度測定のコンプォネント不確かさを低減した。新型太陽電池の高精度性能評価技術を開発し、集光型太陽電池セルでも測定再現性 1%以内を達成した。開発技術の標準化、普及と国際整合性に関し、JIS、IEC 規格制定へ技術的に貢献するとともに、試験機関への技術移転および欧、米、アジアの太陽電池評価機関との国際比較測定、技術交流等の連携を推進した。メーカー、大学、研究機関の開発した新型太陽電池の高精度性能評価を実施することにより、高精度化、低コスト化技術開発に貢献した。発電量評価技術では、つくば、鳥栖における各種太陽光発電システムの発電量データを定量的に検証するとともに、データベースを構築した。屋外での性能評価に影響が大きい環境要素を明らかにし、その影響を低減する技術を考案して、屋内高精度測定値に対する屋外測定値の精度 2%以内を達成した。システム故障診断技術に関して、低圧システムの電流－電圧特性測定による結晶シリコン太陽電池モジュールの不具合探索法を考案するとともに、直流電気安全に関するガイドライン試案を作成した。

### 3-(1)-③ 日常生活における人間の生理、心理及び行動の統合的計測と健康生活への応用技術開発とその国際標準化（Ⅱ-2-(1)-②を再掲）

#### [中期計画]

・日常生活における高齢者、障害者、健常者等の人間の生理、心理及び行動情報を計測し、健康及び安全状態を時系列で定量的に評価する技術を開発する。低視力者、聴覚障害者や高齢者を対象にデータの蓄積を行い、新たに5件程度の ISO 提案を目指した標準化活動を行う。

#### [中期実績]

・視覚、聴覚に関する 6 件の ISO 等国际標準提案を行った。アクセシブルデザイン技術に関して本中期計画期間内に 4 件の ISO 規格を発行し、3 件の国際審議を提案・開始、2 件の TR(技術報告書)の審議を継続、4 件の国際規格化提案の準備を進めた。それら国際規格に対応する JIS(日本工業規格)の制定も平行して実施した。さらに、「高齢者・障害者の感覚特性データベース」を構築し、ISO 規格及び JIS として発行された規格の背景データ及び活用ツールを公開した。プレスリリース等を通して PR に努めた結果、アクセシブルデザイン技術の活用に関心のある企業から大きな反響があり、新たな共同研究の開始や新製品の開発につながる成果を挙げることができた。この他、映像の生体安全性に関して 3 件の ISO 他国際規格を提案した。

・視覚、聴覚に関する 6 件の ISO 等国际標準提案を行った。また、映像の生体安全性に関して 3 件の ISO 他国際規格を提案した。光感受性発作の低減に関する国際規格化(9241-391)および立体映像の生体影響低減に関する国際規格案(9241-392)に関しては、本中期計画期間内に新業務項目提案(NWIP)から最終投票承認に至り、国際規格(IS)発行の見込みである。さらに国際照明委員会(CIE)では、第 1 部会(Division 1)での TC1-67 において、光感受性発作に関する技術報告書を提案し、投票開始に至った。この他、アクセシブルデザイン技術に関する 3 件の ISO 提案を行った。

・健康及び安全状態を時系列で定量的に評価する技術として、人間の行動情報等に関する多元的な計測データに基づいて、日常生活の健康・安全状態やタスクの困難さなど人間行動の特徴を示す指標を開発し、そ

の指標により加齢と認知機能の関係を明らかにした。さらにタスクの困難さと認知的機能の低下の関係を機能ごとに明らかにし、それぞれの機能低下に合わせたタスク負荷の低減方法を明らかにした。それらの結果からタスクディマンドに応じて必要となる認知資源配分や遂行能力を明らかにした。具体的には自動車運転中の環境要因によるディマンド等、タスクの負荷量をリアルタイムに定量化する手法を開発し、異なる環境による視覚的ディマンドの定量化に成功した。

### 3-(1)-④ ロボットの安全性評価のためのリスクマネジメント技術の開発（Ⅱ-3-(2)-①を再掲）

#### [中期計画]

・機能安全の国際規格に適合可能なロボットの安全規格を定めるため、ロボットの安全性を試験、評価するための技術を開発する。ロボットの安全技術としてのセンサ技術、制御技術、インターフェース技術、ロボットの安全性を検証するためのリスクアセスメント技術を開発する。

#### [中期実績]

・生活支援ロボットの世界初となる新しい国際安全規格の ISO 標準化を達成し、そこで示される安全要求を検証するための試験、評価、リスクアセスメント技術を開発した。具体的にはシミュレーションに基づくリスクアセスメント手法を開発し、国際安全規格に適合したロボットのタイプ別に多数の要素数での分析を実現した。また一般機械や自動車の機能安全規格の概念調査と分析により、センサ技術、制御技術、インタフェース技術等の安全システム設計の技術要件を明らかにした。以上の成果は映像等で公開するとともに、基準ロボットを作成して開発者むけのリファレンスとするなど、実際のロボット開発に利用しやすい形で開発者に提供し、また ISO での標準化提案と規格策定に貢献した。これらの成果を活用し、実証試験を行なうための拠点として生活支援ロボット安全検証センターを構築した。

### 3-(1)-⑤ 高信頼ロボットソフトウェア開発技術（Ⅱ-3-(2)-②を再掲）

#### [中期計画]

・機能安全の国際規格に適合可能な安全なロボットを実現するため、高信頼なロボットソフトウェアを設計、実装する技術を開発する。このため、ロボットソフトウェアのリスクアセスメント、システム設計、開発、評価を一貫して行うことのできる技術を開発する。

#### [中期実績]

・機能安全の国際規格に適合した、SysMLによる高信頼モデルベースのV字開発プロセスを確立した。具体的には上流モデルによる安全高信頼設計、安全分析用モデル言語、人との関係を考慮した拡張V字モデルプロセスと設計・妥当性確認、リスクアセスメント手法、機能安全認証済みのRTミドルウェアなどを開発し、その成果を介護ロボットや双腕型セル生産ロボット、自律移動電動車椅子などの種々の人共存型ロボットの開発に適用し、有効性を確認した。以上により、リスクアセスメント、システム設計、開発、評価を一貫して行うことのできる技術を確立し、その成果は学術発表のみならず事例集や専門セミナーでの依頼講演、製品ツールに組み込まれるなど実用化を達成した。

### 3-(1)-⑥ 情報システム製品のセキュリティ評価技術（Ⅲ-3-(5)-①を再掲）

#### [中期計画]

・ICカードに代表されるハードウェアや基幹ソフトウェア等、情報システムの中核をなす製品の脆弱性分析や安全性評価に関して、現行の制度、標準や新たな評価制度を見据えた技術を開発する。また、当該技術等について、我が国の電子政府推奨暗号評価等での活用を実現する。さらに、それらの技術等を実システムに組み込み可能な暗号ライブラリに適用し、安全性検証済みライブラリとして公開する。

#### [中期実績]

・ICカード、暗号機能内蔵LSI、FPGAといった、情報システムのセキュリティを担う重要なハードウェア要素に対し、レーザを用いた侵襲攻撃やサイドチャネル非侵襲攻撃に関する評価技術の構築を進めた。評価環境プラットフォームとして、従来より機能や性能を高めた標準評価ボード SASEBO-GII/GIII/RII/W、ZUIHO、MiMICC、さらには高精度磁界スキャナを開発した。また、我が国の電子政府推奨暗号のうち ISO/IEC 18033-3 で指定される国際標準暗号を、従来より微細化を進めた 65nm テクノロジーの LSI に実装し評価を行

った。FPGA についても微細化の影響評価を行い、微細化に伴い電力解析よりも電磁界解析が優位となることを示した。また、次期標準ハッシュ関数 SHA-3 の複数の候補アルゴリズムを FPGA に実装し評価環境を構築するとともに、策定委員会で意見を述べ SHA-3 策定に貢献した。国際標準化や評価制度への貢献活動として、非侵襲攻撃に関する国際標準の審議や暗号ハードウェア評価制度に技術的意見を反映させたほかセキュア M2M モジュールのモデル仕様を策定した。

・安全性評価技術の暗号ライブラリへの適用のため、C 言語プログラムの定理証明支援系による形式検証に向けて、実システムに組み込み可能な暗号プロトコル TLS の検証ライブラリの充実、洗練を行い、TLS の実装が仕様を満たすことを効率的に証明する仕組みを完成させ、Web サイトから安全性検証済みライブラリとして公開した。また、C 言語とアセンブリ言語の意味論の関係を検証するためのライブラリの構築や、暗号処理プログラム実装の暗号学的安全性の形式証明にも応用した。さらに、情報理論の基礎となるシャノン定理の形式化を完成させ、情報理論の形式検証基盤を公開した。その他に、実システムへの形式手法の適用事例として、JR 東日本との共同研究で鉄道保安装置の形式化と検証を行った。また、ソフトウェアの適合性検査を自動化、効率化する仕組みについても、詳細な仕様を記述する言語を設計し、TLS 標準プロトコルの初期化処理を対象に、参照実装と 2000 件以上の意図的な異常通信を自動生成し、既存実装の網羅的検査を行ない複数の誤りを発見した。

・開発が進む量子鍵配送システムについて、将来的に立ち上げが期待されている評価認証制度においてその安全性の検証を実効的に行うための技術開発を行った。具体的には、生成した鍵の性質に基づいて安全性の評価を可能にする手法として、コロモゴロフ複雑性を基礎とする安全性証明の定式化を達成した。さらに、市販されている量子鍵配送システムの多くに含まれていた光子検出器用光ダイオードの応答特性に起因する脆弱性に関し、ダイオードのカスケード的配置による対策を提案、あわせて本対策による鍵生成レートの低下の影響の見積もりを行った。また、これらの知見等に基づき民間企業との共同研究を実施し、量子鍵配送技術の普及を目的とした安全性の評価について、従来の暗号技術との類似点や相違点を考察し、従来の暗号技術に用いられてきたホワイトリスト型のチェック項目を用いた安全性評価手法の有効性を示した。

### 3-(1)-⑦ 情報システムの高信頼、高安全、高可用化技術（Ⅲ-3-(5)-②を再掲）

#### [中期計画]

・情報システムの形式モデルベーステストによるケース自動生成技術を開発してシミュレーション技術への統合を図り、実社会の基盤情報システムの大半を占める1兆状態以上のシステムに対して、技術の有効性を検証する。さらにシステムの設計、開発、試用、改変、譲渡、廃棄までのライフサイクルの各場面で適用すべきテストや検証法のガイドラインを策定し、評価技術を開発する。また、設計と開発を中心にシステムのライフサイクルを支援するツールチェーンを開発する。

#### [中期実績]

・情報システムの検査工程の高信頼化、高効率化のため、形式モデルに基づくテストケース自動生成技術に取り組み、FOT テスト仕様記述を設計し、ツールとして実装、既存技術と比較してより高速により高い網羅率のテスト生成をする技術を開発し、産業界へ向けた技術移転を行った。情報システムのモデル検査技法の洗練について、検証クラスタ「さつき」等を用いて、1兆個の状態を持つシステムに対して、モデル検査技術を適用し、実際のソフトウェアの問題を発見できることを実証した。また、ライフサイクルの各場面で適用すべきテストや検証法について事例調査を実施し、報告書にまとめるとともに、消費者機械策定において、モデルベースによる規格策定方法論を確立した。設計と開発を中心にシステムのライフサイクルを支援する安全・信頼性規格として、概念(メタ)モデルから規格を策定し、ディペンダビリティケースによるシステム保証を中心とした、消費者機械向け規格をとりまとめ、OMG 規格策定の最終段階 (Finalization Task Force) に進めた。

・「設計と開発を中心にシステムのライフサイクルプロセスを支援するツールチェーン」の開発のため、標準基礎知識体系 SWEBOOK に基づく開発プロセスの概要・標準・ツールに関する調査を行って高度 IT 人材向け育成課程講義資料形式の報告書としてまとめた。また、個別組織がプロセスを実装する際の支援となる開発プロセス展開パッケージと開発プロセスの改善を支援するプロセスアセスメントキットを、小規模組織向けソフトウェアライフサイクルプロセスの国際規格に基づいて開発した。これらの成果に関して、共同研究先である筑波大学「高度 IT 人材育成のための実践的ソフトウェア開発専修プログラム」での利用を通じて妥当性の確認を行うとともに、普及を図った。



## 《別表2》 地質の調査(地質情報の整備による産業技術基盤、社会安全基盤の確保)

### I. 地質の調査(地質情報の整備による産業技術基盤・社会安全基盤の確保)

#### [中期目標]

地殻変動が活発な地域に位置する我が国において、安全かつ安心な産業活動や社会生活を実現し、持続的発展が可能な社会の実現に貢献するために、国土及び周辺地域の地質に関する状況を適切に把握し、これに応じ必要な対応を行うことが求められている。このため、国土及び周辺地域の地質情報の整備と供給、地質情報による産業技術基盤、社会安全基盤の確保に関する研究開発を行う。また、地質の調査に関する国際活動において協力をを行う。

#### [中期計画]

活動的島弧に位置する我が国において、安全かつ安心な産業活動や生活を実現し、持続可能な社会の実現に貢献するために、国土及び周辺地域の地質の調査とそれに基づいた地質情報の知的基盤整備を行う。地球をよく知り、地球と共生するという視点に立ち、地質の調査のナショナルセンターとして地質の調査研究を行い、その結果得られた地質情報を体系的に整備する。地質情報の整備と利便性向上により産業技術基盤、社会安全基盤の確保に貢献する。また、地質の調査に関する国際活動において我が国を代表し、国際協力に貢献する。

#### 1. 国土及び周辺地域の地質基盤情報の整備と利用拡大

##### [中期目標]

国土と周辺地域において地質の調査、研究を実施し、地質情報の整備を行うとともに、衛星情報の高度化及び高精度化に関する研究を行う。また、地質の調査、研究の成果を社会に普及するための体制を整備する。

##### [中期計画]

国土の基本情報である地質基盤情報を、地球科学的手法により体系的に調査、整備するとともに、利用技術の開発と普及を行う。国土と周辺域における地質の調査を実施し、社会の要請に応えた地球科学基本図(地質図幅、重力図、空中磁気図、海洋地質図、地球化学図、地球物理図等)の作成、衛星画像情報との統合化等の地質情報の整備を行う。上記地質基盤情報を電子メディアやデータベースとして社会に普及させる体制を整備する。

##### 1-(1) 陸域・海域の地質調査及び地球科学基本図の高精度化

##### [中期目標]

地質の調査に関する研究手法と技術の高度化を進め、これらの知見も活用し、長期的な計画に基づき、国土の地質情報基盤である地質図、海洋地質図、重力図及び空中磁気図の作成及び改訂を行う。また、国土の地球科学基本図等データベースを整備し、それら情報の信頼性と精度を向上させるとともに、利便性の向上を図り、地質情報の標準化を行う。

##### [中期計画]

長期的な計画に基づき、国土の地質基盤情報である5万分の1の地質図幅の作成、20万分の1の地質図幅の改訂並びに20万分の1の重力図及び空中磁気図の作成を行う。また、海域の環境変動の予測や資源評価の基礎データとして海洋地質図を整備する。さらに、これらの地球科学基本図の利用を促進するために必要なデータベースを整備し、公開する。調査結果の信頼性向上に必要な地質標本の標準試料化と保管及び地質情報の標準化等を行う。

##### 1-(1)-① 陸域の地質調査と地質情報の整備

##### [中期計画]

・国土の基本情報としての地質の実態を体系的に解明し社会に提供する。都市基盤整備や防災等の観点及び地質情報の標準化と体系化の観点から重要な地域を重点的に、5万分の1地質図幅20区画を作成する。

全国完備を達成した20万分の1地質図幅については、更新の必要性の高いものについて3区画の改訂を行い、日本全域については最新の地質情報に基づき、地層及び岩体区分の構造化と階層化を行った次世代の20万分の1日本シームレス地質図を作成する。

[中期実績]

・5万分の1地質図幅について、関東から東海地域における都市基盤整備や防災等の観点から重要な地域、国土の地質情報の標準化と体系化の観点から重要な地域に重点化し、20区画の地域を整備することを目標としたが、すべて完成し、印刷出版することができた。また20万分の1地質図幅については、第2期中期計画終了時に全国完備を達成したので、本期の計画としては更新の必要性の高い1950年代作成の「大分」と「松山」、及び首都圏を含む「横須賀」の3区画の改訂を実施した。そのうち「大分」と「横須賀」は平成26年度に印刷出版した。残り「松山」については平成26年度中に原稿が完成し印刷出版準備を整えた。日本全域については最新の地質情報に基づき、地層及び岩体区分の構造化と階層化を行った次世代の20万分の1日本シームレス地質図を作成した。

### 1-(1)-② 海域の地質調査と海洋地質情報の整備

[中期計画]

・沖縄周辺海域の海洋地質調査を実施し、海洋地質図の作成に必要な海底地質、地球物理、堆積物に関する基礎情報を取得するとともに、既に調査済みの海域も含めて、海洋地質図10図を整備する。取得した地質情報を、海域の環境変動の予測や資源開発評価、海域及び海底利用の基礎データとして社会に提供する。

[中期実績]

・沖縄周辺・東シナ海海域(沖縄本島西方海域、沖永良部島周辺海域、徳之島周辺海域、奄美大島周辺海域と北部・中部沖縄トラフを含む東シナ海海域)の海洋地質調査航海を実施し、海洋地質図(海底地質図・重磁力異常図・表層堆積図)作成のための一次情報となる海底地形、反射法音波探査断面、全磁力、重力、岩石、堆積物などに関する海洋地質情報を取得した。また、既存資試料の解析・分析を進めて、11区画16枚の海洋地質図(3区画6枚の海底地質図と重磁力異常図並びに8区画10枚の表層堆積図)を出版した。既存の海底地質や海底堆積物に関するデータの整理とデータベース化とその拡充を進め、海底地質についてはほぼすべてのデータをデータベースとして公開した。

### 1-(1)-③ 地球科学基本図等の高精度化

[中期計画]

・国土の地球科学基本図等に関する基盤情報のデータベースを整備、公開する。地質情報の高信頼化と高精度化を図るために、岩石・ボーリング試料等で得られた地質標本の標準化及び保管と管理を行う。また、地質凡例や地質年代等の標準化を行う。地質情報整備支援のために、地質標本の薄片・研磨片等を作成する。ISOに準拠した地球化学標準試料3個を作製する。

大都市周辺の精密地球化学図として関東地方の精密地球化学図を完成する。地球物理図に関しては、20万分の1重力基本図3図、5万分の1空中磁気図2図を作成する。ボーリングコアは10件以上を新たに登録し、コアライブラリを整備し、20件以上の利用を目標とする。岩石試料は200サンプル以上を、化石試料は30試料以上をそれぞれ標本登録し、50件以上の利用件数を目標とする。

[中期実績]

・地質標本の標準化のため、岩石、鉱物及び化石等の地質標本の記載・分類学的研究を行った。火成岩類・変成岩類の岩石・鉱物の分類・記載として、群馬県桐生市の後期更新世テフラ、紀伊半島西部の飯森地域のエジリン輝石等の分析等を行った。新生代の化石についてはコケムシの解析を行ない、また古生代後期の石灰岩中の化石相・堆積相の解析を行ない、それぞれの化石のもつ環境指標の有用性についても示した。あわせて長野県戸隠地域の新生代軟体動物化石の記載を進めモノグラフ原稿を作成した。外部機関との共同で鉱物の反射スペクトルに関する系統的な分析を行い、成果をとりまとめてGSJ研究資料集として公開した。「地質標本データベース」のデータ修正や標本情報の整備を継続して行った。

・地質図の凡例表示のためのJISA0204とデジタル地質図のためのJISA0205の改正作業を行い、現案作成委員会を経て、日本工業標準調査会に提出し、承認された。一部に誤りがあったため地質図JISの正誤表をとりまとめて規格協会に申請した。この地質図JISの改訂版を地球科学基本図等に反映させるための規則

作りを行い、出版物に反映させた。また火山データベース等を国際規格(OGC規格)に対応した情報にして公開した。地層名検索データベースは、産総研地図系データバンクに対応させるため内容の詳しい検討を行い、移植の際にシステム全体の改修を行って公開した。本データベースの地層名データについて、追加・修正作業を継続的に行い、毎年データベースの内容を更新するとともに、データ登録の方法を検討して登録ページを作成した。さらに本データベースの利便性向上のため、地質図 Navi との連携機能の追加を行い公開した。現在、日本地質学会と協力し、国際ルールに則って日本の標準層序を公式に認定し地層名検索データベースに登録するための審査機構を構築中で、地新地層名の提案の際にも本データベースを利用する仕組みの構築を進めた。

・ISO に準拠した地球化学標準試料として、北海道日高地方超塩基性変成岩試料 JP-2(かんらん岩)、香川県坂出市安山岩試料 JA-2a(さぬき石)及び岐阜県中津川市花崗岩試料 JG-2a(苗木花崗岩)の3個の岩石標準試料を作製するとともに、NITE 認定センターより受けている ISO 認定(ASNITE プログラム)を維持するのに必要な品質マニュアルの改善・記録作成・内部監査等を行い、NITE の認定維持審査を受け認定を継続した。大都市周辺の精密地球化学図作成のため、関東地方より新たに 981 個の河川堆積物試料を採取し、53 元素の化学分析を行い、既存の試料と合わせて約 1,500 個のデータを用いて従来の全国図の 10 倍の精度を持つ「関東地方精密地球化学図」を完成させるとともに、次の作成予定地である名古屋市を中心とした「中部地域」より 264 個の河川堆積物試料を採取し予察を開始した。

・20 万分の 1 の重力基本図 3 図(姫路地域、徳島地域、京都大阪地域)、5 万分の 1 空中磁気図 2 図(養老山地地域、富士火山地域)を作成した。既発行の重力データベース CD に、海域の調査データにより正確な地形補正を施し、さらに新規調査データを加えた重力データベース DVD を発行した。また Web 公開版重力データベースを更新するとともに、地下構造可視化システム(活断層セグメント)への対応を行った。甲府地域重力構造図を発行した。また、20 万分の 1 および 5 万分の 1 地質図幅の重力等値線の編集を分担した。この他に、和歌山地域、金沢地域、伊勢地域の重力調査を実施した。一連の地球物理学的調査によって地質情報の整備・高信頼化・高精度化を推進した。

・珪藻、火山灰、古地磁気等を統合する高分解能で汎用性の高い新第三紀-第四紀の年代スケールを構築することを目標として研究を実施した。栃木、茨城及び新潟県において中新世の広域火山灰を複数見だし、珪藻化石層序と火山灰層序の精度を向上させた。また、新潟県津川・胎内地域及び石川県能登半島の新第三系において珪藻と渦鞭毛藻化石層序の対比を行い、その広域適用性を確かめた上で、渦鞭毛藻化石層序を年代スケールに組み入れることができた。以上の成果を総合し、最新の地磁気極性スケールに合わせた統合年代スケールを確立するとともに、随時陸域地質図作成等に適用し地質調査の精度向上に寄与した。また、世界で初めて海底の鉄マンガンクラストを SQUID 顕微鏡で分析し、過去の地球磁場の痕跡を用いた古地磁気層序により形成年代と成長速度を推定することに成功した。また、地質試料用の SQUID 顕微鏡を日本で初めて開発した。さらに、四国海盆(熊野灘沖)の統合国際深海掘削計画(IODP)の掘削試料の古地磁気研究を行い、古地磁気層序による過去 1500 万年の地質年代軸の提供および応力方位を決定できた。

・岩石試料 15000 点以上、鉱物試料 500 点以上、化石試料 1000 点以上の標本登録を行い、370 件以上の標本利用依頼への対応をした。平成 23 年の東日本大震災の影響もあり、被災の復旧と研究スペース再構築のため、1 万箱以上の膨大な地質試料の整理・移転も行った。RIO-DB から g-bank への移行のため、DB の項目見直しやデータ構造の検討等を行い、第 3 期中に移行した。薄片作製数は、一般及び研磨薄片、大型薄片等の特殊試料について 6000 件を越えた。乾式法を改良発展させて難関であった鉱物種イモゴライトの薄片作製に初めて成功し、鉱物の研究支援に大いに貢献した。乾式法に関して民間企業とライセンス契約を締結した。人材育成として企業や大学の薄片作製技術者を受け入れて研修を行った。

## 1-(2) 都市域及び沿岸域の地質調査研究と地質情報及び環境情報の整備

### [中期目標]

地質図が整備されていない都市平野部及び沿岸域の地質について、調査、研究を行うとともに、地質情報及び環境情報を整備する。

### [中期計画]

沿岸域に立地する多くの都市における地質災害の軽減に資するため、地質図の空白域となっている沿岸域において最新の総合的な地質調査を実施し、海域－沿岸域－陸域をつなぐシームレスな地質情報を整備する。

自然や人為による地質環境変化を解明するため、生態系を含む環境変遷及び物質循環、沿岸域環境評価の研究を実施する。

### 1-(2)-① 都市域及び沿岸域の地質調査研究と地質情報及び環境情報の整備

#### [中期計画]

・沿岸域に立地する多くの都市における地質災害の軽減に資するため、地質図の空白域となっている沿岸域において最新の総合的な地質調査を実施し、海域－沿岸域－陸域をつなぐシームレスな地質情報を整備する。

自然や人為による地質環境変化を解明するため、生態系を含む環境変遷及び物質循環、沿岸域環境評価の研究を実施する。

#### [中期実績]

・越後平野西縁部の活断層通過位置近傍において、深度 80m のボーリング調査と浅層反射法物理探査を行い、断層による沖積層の変形構造と変位量を明らかにするとともに、平野域での断層通過位置を推定した。越後平野でのボーリング調査結果と既存ボーリング資料の解析結果をあわせて、沖積層の層相や堆積環境に基づく区分を行い、その対比によって地下断面図を作成した。また、海域での音波探査記録と平野部での地下資料を基に、陸域から沿岸海域に及び沖積層基底深度分布図を作成して、その中で活断層による変位量分布も示した。越後平野とその周辺丘陵域での地質調査結果および最新の地質情報を反映させて、20 万分の 1 シームレス地質図を編集した。これらを報告書にとりまとめ DVD-ROM 出版物として公表した。

・福岡沿岸域、北海道勇払平野を中心とした地域、駿河湾北縁部の平野域及び足柄平野を中心とした相模湾沿岸域において、平野での深度 20～100m 程度のボーリング調査と既存地下資料の解析を行い、沖積層あるいは後期更新世堆積物の基底深度分布を明らかにした。またその周辺地域の活断層や活構造と第四紀層の地表調査を行い、活断層、活構造の分布を従来よりも詳細に示したとともに、鍵層となる特定の地層の分布標高などをもとに複数の断層の活動度を求めた。福岡沿岸域や勇払平野周辺域ではそれらの結果をコンパイルし、20 万分の 1 シームレス地質図または地下の地質構造図に表現した。さらに、近接する海域での断層や地層分布を陸域にまで連続させた地質図を作成した。

・福岡県沖、北海道勇払沖、静岡県駿河湾、千葉県房総半島沖において地質情報が空白域となっている沿岸域の海洋地質調査(反射法音波探査、表層堆積物採取、堆積物柱状試料採取と一部で海底地形調査と海底表面構造調査)を実施し、海域の地質層序、構造、表層堆積物の分布と堆積作用の解明のための一次情報となる海底地形、海底地質、堆積物などに関する資試料を得た。これらの資試料と既存データを統合した解析・分析などから、新潟県沖、福岡県沖、北海道勇払沖、静岡県駿河湾について沿岸域の海底地質図および海域・沿岸域・陸域をつなぐシームレス地質図を作成したほか、表層堆積物の分布や層序などを確立し、沿岸海域の地質情報の整備を行った。

・北海道石狩低地帯における北海道開発局と千歳市など市町村所有のボーリング柱状図資料を収集し、産総研の既存ボーリング資料と合わせて三次元地質地盤情報を整理した。収集したボーリングデータの品質確認(標高、位置)を行い、その電子化作業を行った。福岡平野・石狩低地帯・関東平野南部域の三次元浅部地下構造モデルについて、ボーリングデータの少ないエリアを地質学的知見で補填する技術を開発し、これらの地域に適用しモデルを作成するとともに、地下水・地震動評価用に有用な N 値と岩相の三次元グリッドモデルの高精度化技術を開発し、これらの成果を論文で公表した。また、三次元モデリングシステムについては、柱状図表示・解析機能などを改良した。

・関東平野中央部での地下地質と地盤モデル、地下水システム、重力や反射法探査結果、沖積層の工学的性質と地震被害との関係などについてとりまとめを行い、沖積層の堆積環境変遷図・地盤モデルの作成、深度 600m までのコアの対比による標準層序確立、反射法探査断面・重力探査結果・地下水の同位体組成成分分布などを、DVD-ROM にとりまとめた。

沖積層については既存ボーリング柱状図約 1 万本を収集して作成したデータベースに基づき、東京低地周辺域の 125m メッシュ精度の沖積層基底面モデルを再構築した。これと、本研究の一環で掘削したオールコアボーリングにより、層序及び堆積相を確立し、工学特性の基準となるデータを得た。

利根川下流域での液状化の実態把握のため、既存資料収集、ボーリング調査及びコアの解析、トレンチ調査、地下水位の測定と同位体分析、各種物理探査などを実施し、液状化ポテンシャルマップを作成した。既存資料、ボーリングコア解析とコーン貫入試験等の結果も含めて、被覆層の厚さ等を考慮した液状化ポテンシャル

マップを作成し、2011 年地震による被害状況と概ね一致していることを確認した。

・福岡県沖、北海道苫小牧沖、駿河北部沿岸域の各地域の重力データ空白域で海底重力調査を実施した。既往の海上重力データおよび陸上重力データについて、より正確な地形補正を施した。また、新規に取得した海底重力データを取り扱えるように地形補正を対応させた。これらの陸上重力データ、海上重力データ、海底重力データを統合して、陸海域を接合した重力図を作成した。新潟沿岸域、福岡沿岸域、石狩低地南部沿岸域、駿河湾沿岸域の陸海域を接合した空中磁気図を作成した。また、相模湾北部沿岸域の海底重力データ空白域で海底重力調査を実施した。一連の地球物理学的調査によって、海域－沿岸域－陸域をつなぐシームレスな地質情報の整備に貢献した。

・海洋酸性化が石灰化生物に与える影響を、亜熱帯・温帯性サンゴ、サンゴ礁性有孔虫、石灰藻などを対象に実験的に検討し、多くの生物群の石灰化が阻害される可能性を明らかにした。また、サンゴ骨格の同位体比・元素組成分析による気候変動解析により、本邦亜熱帯域の水温が過去の太平洋十年規模変動に同調していること等が明らかとなった。ダム湖等の内水域の地球温暖化に伴う環境変化を検討して、昇温傾向を示すものがあることを見いだすとともに、霞ヶ浦など陸水の炭酸系モニタリングから物質循環プロセスの解析を試みた。ベトナム南部のメコンデルタ等を含め、デルタや浜堤平野の堆積物について光ルミネッセンス年代測定を実施し、完新世における気候と海水準の変動の復元研究を実施した。

・1) 衛星画像データを用いて、浅海域のアマモ場分布の推定技術の開発を行い、精度の良い推定法の確立に成功した。製鋼スラグの一種である脱リンスラグと浚渫土の各種混合土壌におけるアマモ大型水槽実験を行った結果、1 年以上経過後は、スラグ 100%土壌においてもアマモの生育が良好となり、人工アマモ場土壌として脱リンスラグが適用できることが明らかとなった。また、大阪湾を対象とした水理実験結果を解析し、海水交換促進を目的とした流況制御技術の効果を示した。さらに、仙台湾数値モデル実験により、仙台湾の津波堆積物は等深線に沿うように帯状に分布する傾向が示された。また、松島湾水理模型実験により、津波を減勢する防潮堤や潜堤構造物の効果を明らかにした。

2) 瀬戸内海のアサリ減少の原因究明のため、アサリ浮遊幼生の生態系ネットワーク分断箇所特定を試み、浮遊幼生追跡モデルの開発に成功した。また、モデル実験を開始した。

・1) 中国、ベトナム、タイ等において、沖積平野の層序、環境変遷、沿岸侵食等に関して現地の研究機関と共同で研究を行った。中国では、黄河デルタにおける最終氷期以降の環境変遷、黄河の河道変化の渤海への影響、江蘇省の旧黄河デルタにおける 1855 年以降の沿岸侵食量を初めて明らかにした。長江デルタでは、揚州地域において長江デルタの始まりが 8 千年前であることを示した。2) ベトナムでは、光ルミネッセンス年代測定法によってメコンデルタの浜堤の年代を初めて広域で明らかにし、過去 3 千年間の海岸線の変化を示した。またデルタ中部の海浜では夏と冬のモンスーンに対応して地形や堆積物が大きく変化し、冬季モンスーンが沿岸侵食に大きく寄与していることを示した。3) 海水準変動では、ベトナムにおいて 9 千から 8 千年前に急激な海面上昇があったことを初めて示し、長江デルタ、マレー半島においても完新世初期から中期の海水準変動を明らかにした。4) タイのチャオプラヤデルタでは、沿岸侵食域が潮汐による水位変動によって促進されていることを明らかにし、インドネシアのジャワ島北部では沖積層の基本層序の再検討が必要であることを示した。

・沿岸域に立地する多くの都市における地質災害の軽減に資するため、地質図の空白域となっている沿岸域において最新の総合的な地質調査を実施し、海域－沿岸域－陸域をつなぐシームレスな地質情報を整備することを目的として、新潟、福岡、石狩低地帯南部及び駿河湾の沿岸域と相模湾から房総半島沿岸域の海域及び陸域での地質、活断層調査を実施した。新潟沿岸域では主に越後平野西縁に発達する角田・弥彦断層の海域延長部、地震が発生する活動周期、越後平野の地質構造及び形成プロセス等を、福岡沿岸域では主に警固断層等の活断層の活動性を、さらに石狩低地東縁断層帯の深部構造、活動性及び日高海盆への連続性などを明らかにした。これらの解析結果をまとめて、新潟沿岸域、福岡沿岸域、石狩低地帯南部沿岸域の海陸シームレス地質情報集(DVD)を出版した。

### 1-(3) 衛星画像情報及び地質情報の統合化と利用拡大

[中期目標]

自然災害、資源探査、地球温暖化、水循環等に関する地球観測の一環として、地質に関する衛星情報を整備するとともに、それら情報の利用拡大のための研究を行う。

[中期計画]

自然災害、資源探査、地球温暖化、水循環等に関する全地球的観測戦略の一環として、衛星画像情報のアーカイブ、地質情報との統合を図る。また、シームレス化、デジタル化された地質情報と衛星情報から、新たな視点の地質情報を得ることを可能にする技術の開発を行う。また、情報通信速度の向上や画像処理技術の進展に応じて、新たなデータを統合してデータベースとして提供する等の対応を行う。

### 1-(3)-① 衛星画像情報及び地質情報の統合化データベースの整備（IV-2-(2)-①へ再掲）

#### [中期計画]

・衛星データ利用システム構築に資する衛星画像情報を整備し、地質情報との統合利用により、鉱物資源のポテンシャル評価や火山、地震、津波等の災害情報等に利活用する。また、情報通信技術との融合により、シームレス化、データベース化された地質情報と衛星画像情報の統合化データベースを整備し、新たな視点の地質情報を抽出するための利活用方法の研究を実施する。

#### [中期実績]

・経済産業省の開発してきた衛星搭載光学センサ(JERS-1 OPS、ASTER) およびレーダーセンサ(JERS-1 SAR、PALSAR) の全衛星画像情報のアーカイブを整備し、地質情報との統合利用により資源探査や減災といった分野での利活用を行った。また国際標準に基づくメタデータ検索システムおよびクラウド上で動作するスケーラブルな処理システムを開発し、合計 3PB を超える膨大な衛星センサのアーカイブデータを、地図と完全に重なる高次レベル画像に変換した。この衛星画像情報とシームレス化/データベース化された地質情報の統合化データベースを構築した。このデータベースの統合利用により、鉱物資源のポテンシャル評価や火砕流の到達範囲予測、高精度な面的地震動の予測といった具体的な利活用の研究を行った。  
・整備された衛星画像情報を利用した各種ベースマップおよびデータベースシステム作成のための以下の研究開発を行った。

1) 天然色全球マップ作成において、平成 22 年度から研究開発に着手し、平成 23 年度以降は地域ごとにシーン間色調整なしの全球マップの作成および高品質な色調整を行った。平成 26 年度において全球約 3 万 2 千のタイルとして整備し、WMS 配信するためのシステムの構築を行った。

2) 全球都市マップ作成において、平成 22 年度および平成 23 年度にアルゴリズムおよびその検証手法を開発し試作を行った。平成 24 年度以降は、位置情報を持った人口統計情報を追加適用、都市域マッピング・クラウドソーシングシステムや精度向上のためのアプリケーションを開発し、その精度を向上させた。

3) 地理情報管理のためのシステムにおいては、平成 22 年度にプロトタイプを開発、また、そのソフトウェア知財登録を行った。平成 23 年度以降は利用実証および試験利用を開始、ユーザインタフェースを改良し、ASTER データ検索機能や地質データを追加した。最終的にユーザからのフィードバックをもとに改良を加えて、平成 25 年度にシステムを完成させた。

・衛星画像情報や地質情報を整備し、解析することにより、火山噴火観測や地質構造解析を実施した。また新たな視点の地質情報を抽出するための技術開発を行った。具体的には、衛星画像情報を用いて西之島などの遠隔地の火山噴火の観測を実施した。また、衛星観測データの解像度依存性に関するメカニズム解明を行った。3 次元地質モデル作成に必要な地質境界面の形状を迅速に推定するシステムの開発を行い、千葉県北部の露頭柱状図やボーリングデータを基礎データとした 3 次元地質モデルを試作した。大型放射光利用施設 SPring-8 において X 線 CT 装置の改良・解析技術開発を行ない、それを小惑星探査船「はやぶさ」の回収試料などの分析に応用した。国際標準である WMTS に対応した地質情報の整備及び公開に関する技術開発を行った。

・衛星画像情報から標高を抽出し、火山噴火に伴う噴出物の総量を推定を行った。また、海底火山の活動と変色海水のスペクトル変化の関係についての研究を実施した。地質情報のデータベース化の一環として、ASTER 時系列 DEM 及びオルソ画像の作成をすすめた。今期に、西アジア、ヨーロッパ、オセアニア、南米、北米と範囲を広げたことにより、全球の整備を完了した。また、それらを基に全球 ASTER モザイク画像を作成した。火山衛星画像データベースについては、これまで公開していた内容をさらに充実させた。具体的には、画像のオルソ化・色の割り当て等を変更したバージョン 3.0 を公開し、今期中に新たに 7 万シーン以上の衛星画像を追加した。

・野外調査の情報の電子化を行う上で効率的な方法についての情報収集と検討を行い、情報の電子化を行う際に必要なツールである iPhone 版クリノメーターの機能の追加開発を行った。iPhone 版クリノメーターは、調査の効率化に有用なソフトウェアであり、その開発において、より使いやすいものになるよう配慮し、ソフト

ウェアの機能の修正と便利な機能を追加した。主な開発内容は、英語版のインターフェイスと説明の追加、デジタル式表示デザインの追加、編集データ並べ替え機能の変更、データ保存機能を不安定状態で保存できるように変更、水準器の動作機能の修正、走向傾斜のコピー&ペースト機能の追加、インターバル測定機能の追加、線構造測定機能の追加、面構造と線構造を同時に表示・記録する機能の追加、スマートフォンが裏返しの状態で磁北を示す機能を追加した。

## 2. 地圏の環境と資源に係る評価技術の開発

### [中期目標]

国土利用の促進、資源開発及び高レベル放射性廃棄物の地層処分の安全性の確保を目的とした地質の調査、研究を行う。

### [中期計画]

地球の基本構成要素である地圏は、天然資源を育むとともに地球の物質循環システムの一部として地球環境に大きな影響を与える。地球の環境保全と天然資源の開発との両立は近年ますます大きな問題になっている。地圏の環境保全と安全な利用、環境に負荷を与えない資源開発及び放射性廃棄物地層処分の安全規制のため、地圏システムの評価、解明に必要な技術の開発を行う。

### 2-(1) 地圏の環境の保全と利用のための評価技術の開発

#### [中期目標]

土壤汚染、二酸化炭素地中貯留及び地層処分について、地圏の環境の保全と適切な利用にかかわる評価技術の開発を行うとともに、その普及に努める。

#### [中期計画]

土壤汚染、地下水汚染問題に対し、環境リスク管理に必要な評価技術の開発を行う。また、地球環境における低負荷のエネルギーサイクル実現のため、二酸化炭素地中貯留及び地層処分等の深部地層の利用に関する調査及び評価技術の開発を行う。

#### 2-(1)-① 土壤汚染評価技術の開発

##### [中期計画]

・土壤汚染等の地圏環境におけるマルチプルリスクの評価手法を構築し、産業のリスクガバナンスを可能にするため、統合化評価システム及び地圏環境情報データベースを開発する。また、物理探査技術による土壤汚染調査の有効性を検証し、原位置計測や試料物性計測技術との併用による土壤汚染調査法を構築する。さらに、地圏環境の統合化評価手法を発展させ、水圏及び地表の生活環境における様々なリスクを適切に評価するための技術体系を確立する。

土壤汚染対策については、鉱物、植物、微生物及び再生可能エネルギーを活用した環境共生型の原位置浄化、修復技術を開発し、産業用地や操業中の事業場に適用可能な低コスト化を図る。

##### [中期実績]

・地圏環境リスク評価システム(GERAS)をCCSや固体廃棄物埋立施設及び除染廃棄物管理施設の安全性評価等に対応できるよう改良・公開し、一連の研究開発と普及活動等により第41回環境賞優良賞を受賞した。地圏環境情報データベースとして富山県及び茨城県地域の表層土壤評価基本図を整備・出版した他、汚染物質の吸着と溶出特性等のデータベースを拡充し、成果の一部は第20回国際土壤科学会議で優秀ポスター賞を受賞した。また、物理探査技術による地下浸透経路の推定や核磁気共鳴による土壤コア中の油分分布計測並びにX線CTによるコア試料中の重元素と濃度の特定手法を開発した。

酸性硫酸塩土壌や微生物等による有機化合物の分解・浄化、鉱物による汚染物質の吸着並びに太陽光等自然エネルギーを用いた動電学的浄化手法の開発を実施し、民間共同研究等を介して実用化を図った。

震災後、緊急調査を実施し、津波堆積物中の重金属類とそのリスクの解析結果を公表した。この成果により平成25年度土木学会論文賞を受賞した。また、除染の費用対効果に係る分析・評価とその公開、環境水中低濃度Csの迅速計測装置開発と実用化を民間共同で実施し、復興支援に貢献した。

## 2-(1)-② 二酸化炭素地中貯留評価技術の開発（I-6-(6)-③へ再掲）

### [中期計画]

・早期実用化を目指して、二酸化炭素地中貯留において、二酸化炭素の安全かつ長期間にわたる貯留を保証するための技術を開発する。大規模二酸化炭素地中貯留については、複数の物理探査手法を組み合わせた効率的なモニタリング技術の開発、二酸化炭素の長期挙動予測に不可欠である地下モデルの作成や精緻化を支援する技術及び長期間にわたる地層内での二酸化炭素の安定性を評価する技術を開発する。圧入終了後における長期間監視のための費用対効果の高いモニタリング技術や、我が国での実用化に当たって考慮すべき断層等の地質構造に対応した地下モデリング技術を開発するとともに、二酸化炭素が地中に貯留されるメカニズムの定量的解析や、各地における貯留ポテンシャル評価等の基盤技術を開発する。また、安全性評価技術の開発と中小規模排出源からの排出に対応した地中貯留の基礎研究を実施する。

### [中期実績]

・1)弾性波探査を補完するモニタリング技術開発のために、貯留層シミュレーション計算結果から観測可能な物理量の変動を計算するポストプロセッサをCO<sub>2</sub>地中貯留サイトに適用するための改良を行い、CO<sub>2</sub>圧入に伴う各種物理量の変動量予測と実際の試験サイトを想定したケース・スタディを実施した。これらの検討と並行して、米国の国立研とのMOUの下、米国内CCUS実証試験サイトにおいて実際のCO<sub>2</sub>圧入中の重力、AE、SPのモニタリング適用実験を実現した。さらに、モニタリング法改良のため、超伝導重力計並行測定を試行し、苫小牧実証調査サイトにおけるデータ取得を開始した。2)CO<sub>2</sub>の長期にわたる安定した貯留のために、室内実験等により断層・砂泥互層・軟岩の力学・水理学的特性等ならびに地化学データを蓄積し、我が国で考慮すべき地質条件に対応した地質モデリング手法開発を進めた。研究成果は、経産省の大規模実証事業候補地点(苫小牧)選定時にも貢献した。3)CCS環境での微生物によるメタンガス生成メカニズム解明とその影響を考慮したリスク評価技術の改良を行った。

## 2-(1)-③ 地層処分にかかわる評価技術の開発

### [中期計画]

・処分計画における地下水シナリオの精度を向上させるため、原位置実証試験による水理学的研究や環境同位体を用いた地球化学的研究を実施し、沿岸部深部地下水の流動環境と組成を把握する。また、沿岸域の地質構造評価のため、浅海域電磁探査法の適用実験及び改良による実用的な探査手法を構築するとともに、海陸にわたる物理探査データ解析・解釈法を開発する。さらに、処分空洞周辺の超長期間の緩み域の広がりを把握するために必要な技術基盤を開発する。

### [中期実績]

・北海道幌延町において、海底下に存在する淡水地下水の状況が当該研究によって開発した浅海域の電磁探査手法によって確認され、それが氷期の地下水流動の影響を受けて存在していることが解析的に求められた。これは世界的に見て類を見ない研究であり、その成果は高く評価された。さらに、駿河湾地域における沿岸域研究では、地層処分における地域のコンセンサスの獲得についての実践的な経験を蓄えつつ、海域の地下水調査により、陸域から連続的に流下する地下水が最終的に海底に湧水として湧き出すことを突き止め、海底湧出地下水の位置を確認することで流動性地下水の3次元的な領域を検証する手法を開発した。さらに、断層が地下水流動に与える影響を評価して、深部地下水のポテンシャル観測の重要性を明らかにした。これらの沿岸域における深部地下水環境の解明により、列島各地の堆積平野沿岸域における広域的かつ長期的な地下水流動の一般性を見出すことができた。このように本課題は第3期を通して、わが国の地層処分技術開発研究に貢献した。

## 2-(2) 地圏の資源のポテンシャル評価

### [中期目標]

陸海域の、鉱物資源、燃料資源、地下水資源及び地熱資源に関するポテンシャル評価を行う。

### [中期計画]

地圏から得られる天然資源である鉱物、燃料、水、地熱等を安定的に確保するため、効率的な探査手法の開発を行う。また、新鉱床等の発見に貢献することを目的として、資源の成因及び特性解明の研究を行う。さ



らに、各種資源のポテンシャル評価を行い、資源の基盤情報として社会に提供する。このような資源に関する調査、技術開発の知見を我が国の資源政策、産業界に提供する。

## 2-(2)-① 鉱物及び燃料資源のポテンシャル評価（I-3-(3)-③へ一部再掲）

### [中期計画]

・微小領域分析や同位体分析等の手法を用いた鉱物資源の成因や探査法に関する研究、リモートセンシング技術等を用いて、レアメタル等の鉱床の資源ポテンシャル評価を南アフリカ、アジア等で実施し、具体的開発に連結しうる鉱床を各地域から抽出する。

海洋底資源の調査研究については、海洋基本計画に則り、探査法開発、海底鉱物資源の分布や成因に関する調査研究を実施するほか、海洋域における我が国の権益を確保するため、大陸棚画定に係る国連審査を科学的データの補充等によりフォローアップする。

工業用原料鉱物及び砕石、骨材資源に関し、探査法開発、鉱床形成モデル構築、資源ポテンシャル評価を行う。国内及びアジア地域の鉱物資源情報のデータベースを拡充する。

メタンハイドレート等未利用燃料資源利用のため、代表的な資源賦存域において資源地質特性解明及び資源ポテンシャル評価を行い、燃料資源地質図を整備する。国内資源として重要な南関東水溶性天然ガス資源の賦存状況を解明し、燃料資源地質図として整備する。大水深域等の海域及び陸域における地質調査と解析により、天然ガス鉱床形成システム解明及び資源ポテンシャル評価を行う。効率良い資源開発や環境保全に向け、メタンの生成、消費等の地下微生物活動を評価する。

### [中期実績]

・南ア、モンゴルの未開発レアアース鉱床の詳細調査を実施した。特に南アでは、南ア地調と共同で有望鉱床を発見し、その賦存状況を明らかにした。さらに、ブラジル、米国、東南アジア諸国と研究協力を開始し、各種レアアース鉱床の資源評価を実施した。

工業原料鉱物資源の研究として、国内外の珪石・ベントナイト資源の賦存状況調査を民間企業と共同で実施した。また、ベントナイト性能評価法標準化研究を実施し、メチレンブルー吸着量標準測定ルーチンを完成させた。

300 万分の 1 中央アジア鉱物資源図、500 万分の 1 アジア地質図の出版を経て、集大成である 500 万分の 1 アジア鉱物資源図の出版に至った。

20 万分の 1 地質図「新潟」「八代」「大分」「横須賀」「松山」、5 万分の 1 地質図「豊田」「播州赤穂」などの鉱物資源情報を収集した。

・プラチナ・パラジウム微小領域分析手法の開発を行い、微小領域分析や同位体分析から南アフリカ、アラスカ、日本の金鉱床の金の沈殿機構や金鉱床探査手法を解明した。豊羽鉱床のインジウムの存在状態と濃集機構や菱刈鉱床のセレンを伴う金とカリウムの濃集機構について明らかにした。雲仙火山では変質鉱物と流体包有物から温度構造を明らかにし、付近の地熱水の温度分布との比較から鉱床形成の時期の推定を行った。海底鉱物資源研究のための化学実験室の整備を完成し、鉄マンガンクラストの分析手法の開発とオスミウム同位体による成長速度の解明を行った。また、大陸棚画定に係る国連審査のフォローアップでは、国際誌への掲載が求められる調査結果の論文化を行うなど、審査対応部会での任務を遂行した。

・メタンハイドレートに関しては、事前 FS 調査を経て平成 25 年度から資エネ庁委託費として表層型メタンハイドレートの本格的な広域調査を日本海で実施した。調査データの解析結果から、メタンハイドレートの発達を示唆する海底地形（マウンド、ポックマーク）を見出し、資源量評価を行うための重要な基礎データを提供した。関東地方の水溶性天然ガスに関する地質学的・地球化学的分析を進め、水溶性天然ガスの分布や起源等について解析し、燃料資源図「関東地方」として取りまとめた。三陸沖の海底地質構造の研究では、海底地すべりに関する全く新たな概念の地質構造と流体の挙動の痕跡を発見し、これまでの地質学的常識を覆すような新発見であるとの評価を受け、2013 年日本地質学会小藤文次郎賞を受賞した。微生物による天然ガス（メタン）の生成にかかわる研究では、油ガス田微生物の群集構造やメタン生成活性が掘削や生産の影響を受けること、酢酸からのメタン生成経路が CO<sub>2</sub> 分圧によって変化すること等、重要な新発見を成し遂げており、プレスリリースも行った。

・非金属鉱物資源・材料の研究として、ハスクレイの工業的生産技術の開発、骨材資源の供給と環境保全に関する調査を実施した。また、ハスクレイ、粘土鉱物、ゼオライト等に関して、水蒸気、CO<sub>2</sub>、C<sub>s</sub>、金属元素等に対する吸着性能・機構の研究として、ハスクレイの物理化学性状の解明、金属元素の吸着機構の解明、除

染の基礎情報となる粘土鉱物への Cs の吸着状況の系統的分析・吸着機構の解明等を行った。製品化・実用化に資する研究開発として、施設園芸用 CO<sub>2</sub> 貯留・供給システムの開発、大規模蓄熱システムのための要素技術開発を行った。地圏流体にかかわる研究として、ガスハイドレート(キセノン等)の相平衡の解明、炭化水素ガスの吸着挙動及び相平衡、非メタン炭化水素の挙動およびその測定法の解明、温泉発電にかかわる熱水(温泉水)の化学的性状の解明等を行った。

## 2-(2)-② 地下水及び地熱資源のポテンシャル評価 (I-1-(2)-③へ一部再掲)

### [中期計画]

・我が国の地下水及び水文環境の把握のため、全国の平野部を中心に整備を進めている水文環境図を2図作成する。また、工業用水の安定的な確保のため、全国の地下水資源ポテンシャル図を整備する。再生可能エネルギーとして重要な地熱資源の資源ポテンシャルを地理情報システムによって高精度で評価し、全国の開発候補地を系統的に抽出する。また、地熱開発促進にむけて地熱利用と温泉保全の両立を図るため、温泉発電技術や貯留層探査評価技術を含む地熱技術を開発する。さらに、地中熱利用のため、平野部等の地下温度構造及び地下水流動モデルを構築する。

### [中期実績]

・水文環境図の作成においては、熊本平野(熊本地域)と石狩平野(石狩地域)の2図を出版した。さらに、駿河湾地域(富士山地域)と大阪平野、石狩平野南部地域の調査を開始した。誤分析問題で出版を停止していた5地域においても、再調査を全て終え、再解析と出版のための編集作業を継続した。さらに、平成26年度に施行された水循環基本法に関連して策定される基本計画においては、工業用水の開発と有効利用のため、当所で構築した地下水データベースが活用され、大きく貢献することができた。また、CCOPを通じた東南アジア各国への技術移転に関しては、第3期中に、タイとベトナムにおける水文環境図の作成や地中熱利用のための技術支援を行ったほか、地下水トレーニングコースにおける技術者教育も実施した。

・2007年刊行の「全国地熱ポテンシャルマップ」の改良を検討し、貯留層深度の推定法や温度データの補間法等について改善点を抽出した。その結果を取り入れた全国の地熱資源マップを、環境省の受託業務として作成し(環境省にて公開準備中)、全国の開発候補地をより系統的に抽出可能にするバックグラウンドデータを整えた。一方、福島県と岩手県の2地域での現場試験・シミュレーションを通じて、涵養が地熱貯留層に与える影響をモニタリング可能にした。また、欧米で導出された水圧破碎制御の概念をモデル化した上で、産総研で開発した水圧破碎シミュレータへ組み込み、加圧注水工程を設計可能とした。さらに、岩手県葛根田地域で実証試験を行い、本手法の妥当性を示した。さらに、脆性領域以深での超臨界地熱資源の開発に関し理学的・工学的に検討した結果、技術的に大きなブレークスルーが必要なものの、国内に多数ある古カルデラで一カ所あたり数百MW規模(全国規模で数GW規模)の発電可能性があることを見出した。

・青森県津軽平野に関して、現地調査に基づいて構築した地下水流動・地下温度構造モデルを利用して、熱交換予測シミュレーションおよび地中熱システム成績係数分布のシミュレーションを行い、ポテンシャルマップの高度化を図った(国際誌にて発表)。また、これまでの地中熱ポテンシャル評価の研究手法を総括し、課題を抽出した。とくに「水理地質情報の利用」に関する論文では、情報地質学会賞を受賞するなど高く評価された。さらに、東北5地域の地中熱ポテンシャルマップ作成のため、主要地域の地質データをコンパイルした。うち会津盆地については、シーズ支援事業とも絡めて基礎データを収集し、各種学会にて発表した。また、福島再生可能エネルギー研究所においては、地球熱資源探査・利用技術、実機も利用した地中熱利用システムに関する研究開発を重点化した。

## 2-(3) 放射性廃棄物処分の安全規制のための地質環境評価技術の開発

### [中期目標]

高レベル放射性廃棄物の地層処分事業の安全規制に係る国の施策に資するため、地質現象の長期変動及び地質環境の隔離性能に関する地質学的、水文地質学的知見を技術情報としてとりまとめるとともに、長期的視点から地層処分の安全規制への技術的支援を行う。

### [中期計画]

高レベル放射性廃棄物の地層処分事業に対し、国が行う安全規制への技術的支援として、地質現象の長期変動及び地質環境の隔離性能に関する地質学的、水文地質学的知見を整備し、技術情報としてとりまとめ

る。また、放射性核種移行評価に向けての技術開発を行う。

## 2-(3)-① 地質現象の長期変動に関する影響評価技術の開発

### [中期計画]

・高レベル放射性廃棄物地層処分における概要調査結果に対する規制庁レビューの判断指標として、特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律及び原子力安全委員会の環境要件に照らし、隆起侵食活動、地震・断層活動、火山・火成活動等の“著しい地質変動”の活動履歴及び将来予測において必要となる各変動の発生位置、時代等の不確実性を低減するための調査及び評価手法の適用性評価と長期的な予測手法の開発に向けた検討を行う。また、処分深度の深層地下水の性状、その起源及び流動プロセスの把握手法を開発する。これらの手法の適用結果を、データベースとして取りまとめて国に提供する。さらに、各種の地質変動が深層地下水流動に及ぼす水文地質学的変動モデルの開発に向けた検討を行う。以上の成果を技術情報として取りまとめ、公表する。

### [中期実績]

・特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律及び原子力安全委員会の環境要件に照らし、隆起侵食活動、地震・断層活動、火山・火成活動等の“著しい地質変動”の活動履歴を調査し、データを蓄積し、研究データベース化した。各種地質変動に対する調査・評価手法を開発し変動事象のより詳細な解明を進めるとともに、既存の調査・評価手法の適用性を検証しその有効性を確認した。処分深度の深層地下水の性状、その起源及び流動プロセスの把握手法を開発し、各種の地質変動が深層地下水流動に及ぼす影響の定量的評価手法を提示した。以上の成果を技術情報として取りまとめ、公表した(地質調査総合センター研究資料集、no.560)。また、集積された研究データのうち火山・火成活動のデータについては、「第四紀火山噴火・貫入活動データベース」(地質調査総合センター地質情報データベース内)の構成データとして公開した。

## 2-(3)-② 地質環境の隔離性能に関する評価技術の開発

### [中期計画]

・高レベル放射性廃棄物地層処分における精密調査結果に対する規制庁レビューの判断指標として、特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律及び原子力安全委員会の環境要件に照らし、岩盤の強度、地下水の化学的性質、地下水流動に関する不確実性を低減するための水理・化学環境調査、評価手法の開発、整備と、調査手法及びデータの品質管理に関する評価手法を整備する。また、自然事象等の外的要因が地下水流動、化学的環境に及ぼす影響を評価するための室内実験手法、解析手法を整備した上、シナリオに基づく長期的な変動が地下水流動、核種移行に及ぼす影響予測手法を開発、整備する。以上の成果を技術情報として取りまとめ、公表する。

### [中期実績]

・地下水流動に関する不確実性低減として、塩分濃度による化学的浸透圧発生評価のための高精度の室内実験手法と汎用地下水流動コードへの浸透圧効果の実装を行った。これによって、従来定量的評価が困難であった異常間隙水圧に関するパラメータ評価と長期予測が可能となった。地下水化学に関しては、地下実験施設における継続的な水質モニタリングを行い、施設建設による擾乱を排除するデータ解析によって、長期の水質変動に寄与する微生物群集の反応速度を定量的に評価するとともに、微生物効果と地下水流動変化の相互解析によって、施設閉鎖後の長期間の水質変動予測解析手法を提示した。岩石の破壊に関しては、個別要素法と地下水流動解析の連成解析手法を構築し、断層活動等の外的要因が地下水流動に与える影響の定量的予測手法を構築した。

## 3. 地質災害の将来予測と評価技術の開発

### [中期目標]

地震、火山等の自然災害による被害の軽減のため、活断層、地震発生や火山噴火のメカニズム及び地下水位の変動などに関する調査、研究を行う。

### [中期計画]

地震、火山活動等による自然災害の軽減に必要な、科学的根拠に基づく地震と火山活動の予測が期待さ

れている。その実現のために、調査及び観測情報に基づいて地震及び火山活動履歴を明らかにし、また地震及び火山活動のメカニズム解明を目指した調査、研究を実施する。

### 3-(1) 活断層調査、地震観測等による地震予測の高精度化

#### [中期目標]

活断層について活動履歴の調査を行い、活断層の活動性評価を実施するとともに、地震災害の予測手法を開発する。また、海溝型地震と巨大津波の予測手法を高度化するための調査、研究を行う。

#### [中期計画]

陸域及び沿岸海域の活断層や過去の巨大津波発生状況について古地震調査を行い、将来の地震発生危険度や発生しうる津波の規模を明らかにする。内陸地震の発生と地盤変形の予測に必要な物理モデルの構築とシミュレーション手法を提案する。また、東海・東南海・南海地震を対象とした海溝型地震の短期予測システムを構築する。さらに、これら調査研究結果の情報公開を行う。

#### 3-(1)-① 活断層評価及び災害予測手法の高度化

#### [中期計画]

・陸域及び沿岸海域の25以上の活断層について古地震調査を行い、過去数千年間の断層挙動を解明することにより将来の地震発生危険度を明らかにする。また、調査結果のデータベース化と情報公開を進める。地震の規模と発生時期の予測技術確立のために、糸魚川－静岡構造線を例に、過去の断層挙動、最近の地震活動、地殻変動や実験データに基づいた活断層の物理モデルの原型を提示する。地震発生時の災害予測のため、大都市圏近傍等の活断層運動による地盤変形を予測するための調査手法とシミュレーション手法を提案するとともに、地盤変形評価図を作成する。

#### [中期実績]

・陸域の主要活断層として上町断層帯、警固断層帯、阿寺断層帯、高山・大原断層帯、西山断層帯、長良川上流断層帯、雫石盆地西縁・真昼山地東縁断層帯、砺波平野断層帯、十勝平野断層帯、奈良盆地東縁断層帯、菊川断層帯など計15断層帯、地域評価対象断層帯として九州地域の4断層帯、沿岸海域の活断層として野坂・集福寺断層帯、三方・花折断層帯、高田平野断層帯、函館平野西縁断層帯、青森湾西岸断層帯、布引山地東縁断層帯、鴨川低地断層帯、三浦半島断層群など計12断層帯について、分布形状や活動履歴に関する詳細な調査を実施し、将来の活動確率や地震規模評価のためのデータを得るとともに、地震調査研究推進本部の活断層の長期評価に貢献した。

・北アナトリア断層系において古地震調査を実施し、地震時変位量に基づく連動性評価手法を構築した。この手法を国内外の活断層系に適応・検証するため、糸魚川－静岡構造線活断層系や東アナトリア断層系の古地震調査に着手した。岩手・宮城内陸地震(平成20年6月)の地震断層北端部で、地表すべりに時間、空間的な多様性があることを示すとともに、地表変位が見えにくい山地内の活断層の評価手法として、航空レーザ地形解析とピット調査の併用が有効であることを示した。短い活断層についてデータを整備するとともに、地下の断層構造との対応関係を検討した。北陸地域や九州地域では、地表での長さが短い活断層について古地震調査と高解像度地形解析を行い、活動履歴や延長部を含めた長さに基づいて地震の規模を推定した。断層破碎物質を用いた断層活動性評価手法についてモデルを提示し、モデル検証のための研究事例を蓄積するとともに、手法の適用・検証を行った。

・継続的に活断層データベースに新規データの収録を進めるとともに、調査地点情報の直接検索等の検索機能を改修し公開した。また、一般ユーザーへの利便性をはかるため、地図がより大きく表示できるよう画面レイアウトを見直し、解説やFAQなどをより充実させた。新たに約50の活動セグメントを追加するとともに、新たに約40件の調査結果データを収録した。活断層データベースに収録された約550の活動セグメントのすべてを見直し、そのうち約200の活動セグメントについてパラメータ値などの部分修正を行い、データベースに反映させて公開した。活断層データベースの検索画面にシームレス地質図を重ね合わせて表示できるシステムを公開し、海域活断層については、海域地質構造DBをリンク表示できるようにした。最新の地震の震源位置をリアルタイムで表示できる機能を追加した。

・地震の規模と発生時期の予測技術確立のために、糸魚川断層帯を例に、以下の成果をあげた。1)糸魚川断層帯全域で微小地震のメカニズム解から応力テンソルインバージョンを行い、地殻応力マップを完成させた。

2) 糸静周辺を含む領域の地下のレオロジー構造モデルを完成させ、これをもとに糸静断層帯を含む周辺の60の断層帯について、地震サイクルシミュレーションが可能な有限要素法モデルを完成させた。3) 上記1)の地殻応力マップや日本列島の広域の応力場がほぼ再現可能な、有限要素モデルへの印可応力条件を明らかにした。4) 糸静の連動性評価が可能になるよう、低角の断層(約30度まで)の動的な断層運動シミュレーション技術を開発した。5) また連動性評価のため、2014年長野県北部の地震の動力学的震源モデルを構築した。

・第3期は、蛇紋岩、石英、長石の変形実験と中央構造線の天然断層岩観察に基づき、脆性-塑性遷移領域付近における断層挙動を評価するとともに、付加体を構成するメランジェの変形挙動を実験に基づき明らかにした。また塑性遷移領域直下の岩石変形挙動の解明に向け、長石の焼結技術の開発を行った。

脆性-塑性遷移領域付近における断層挙動の評価では、変形実験に基づき蛇紋岩・石英・長石の摩擦構成則パラメータを温度と変形速度に対する関数として表現した。また中央構造線からは脆性-塑性遷移領域付近における岩石の変形機構に制約を与えるとともに、脆性-塑性遷移領域を挟む差応力のギャップを示唆する結果を得た。

付加体を構成するメランジェの変形挙動は、間隙水圧に大きく影響を受け、低い間隙水圧では延性的なのに対し、高い間隙水圧では脆性的になることを明らかにした。

長石からなる人工岩石を焼結により合成することを試み、焼結前の粉の粒度と焼結温度の制御により空隙率がほとんどなく焼結できることを確認した。

・断層周辺の応力状態と地震切迫度評価のため、様々な条件での三軸圧縮破壊実験を行い、発生するAEの活動と封圧の微小変動の関係について調べた。多くの場合、微小破壊が励起されやすい封圧減少時にAE活動が活発になり、最終破壊が近づくにつれてその相関が顕著になる傾向が認められた。一方、クリープ試験などでは、クリープ開始にともなって相関が消滅するなど、AE活動と封圧変動の関係は単純ではないことも明らかになった。

地下深部の深さ8kmまでに相当する高温・高圧下での弾性波速度測定システムの開発では、常温・大気圧下での反射波の検出に成功するとともに、高温・高圧容器内で測定を行うために技術開発が必要な課題の抽出を行った。一方、軟岩・常温の条件では歪ゲージを用いた動的変形実験により直接弾性数を測定することに成功した。

・関東平野に分布する深谷～綾瀬川断層を検討対象として、その活動に伴う地盤変形を予測するため、地下構造調査により地質構造を把握すると同時に、変形予測図作成のためのシミュレーション手法を開発した。

活断層周辺の地下構造については、地表下1km程度を目標深度とする高分解能の反射法地震探査を実施し、伏在断層の分布を明らかにした。深部の基盤構造については、過去の様々なプロジェクトにより取得されてきた反射法による探査データに対して、最新の知見に基づく再解析を実施することにより従来よりも明瞭かつ高い信頼度で活断層の深部における基盤の変位、変形構造を明らかにした。

地盤変形シミュレーション手法については、地表変位情報から断層形状を推定するための数値解析手法を新たに構築し、従来よりも解析結果に対する客観性が向上した。また震源断層部分については従来までの動力学的な破壊解析手法をさらに高度化し、比較的低角(傾斜角30°程度)な断層の破壊の解析を可能にすることにより、その適用範囲をさらに拡大した。

以上の成果に基づき、地盤変形予測図の作成を進めつつ、その信頼度をさらに向上させるための課題抽出を行った。

### 3-(1)-② 海溝型地震及び巨大津波の予測手法の高度化

#### [中期計画]

・東南海・南海地震を対象とした地下水等総合観測施設を整備し、既存の観測データと統合して解析を進め、駿河トラフ・南海トラフで発生する東海・東南海・南海地震の短期予測システムを構築する。

巨大津波による災害を軽減するため、日本海溝及び南海トラフに面した沿岸域の地形・地質調査に基づいて、過去数千年間の巨大津波の発生履歴を精度良く明らかにし、津波の規模を解明する。宮城県については、津波浸水履歴図を公表する。

#### [中期実績]

・東南海・南海地震予測のための地下水等観測施設を新たに2カ所整備し、さらにデータ収集システム強化を行った。東海・東南海・南海地震の短期予測システムについては、前兆的地下水位変化検出システムを東

海地方で運用するとともに、産総研・気象庁・防災科研の観測データのリアルタイムでの交換を実現し、同観測データの統合解析方法を開発することにより、前兆すべりに類似する短期的 SSE の解析精度を大幅に向上させた。さらに、歪計データによる短期的 SSE の自動検出手法を開発しシステムに実装し、前兆すべりの検出システムを構築した。また、同 SSE による地下水圧変化を世界で初めて検出した。深部低周波微動の震源を自動決定し、短期的 SSE の断層モデルと同時に表示可能とするとともに、地下水等観測施設の鉛直地震計アレイを用いた微動検出手法を新たに開発し、同微動の検出能力を飛躍的に向上させた。1946 年南海地震の直前の上下変動を当時の証言や海水位変動等から定量化した。GNSS・水準測量データ等の解析により東海地域等のプレート間固着等の 1980 年代からの時空間変化を明らかにした。

・台湾成功大学との国際共同研究「台湾における水文学的・地球化学的手法による地震予知研究」を 5 年間（平成 22 年度-平成 26 年度）延長した。水文学的・地球化学的手法による地震予知研究に関する日台ワークショップを台湾あるいは産総研で年 1 回開催し、同国際共同研究を推進した。西太平洋地球物理学会議（WPGM）やアジアオセアニア地球科学会議（AOGS）で、地下水と地震に関する特別セッションを開き情報を交換した。平成 11 年の台湾集集地震（Mw7.6）時の震源域近傍における高密度の地下水位データ及び強震動データを用い、琉球大学理学部と協力して地震時の液状化による地下水位変化と強震動（周波数毎の振幅）および水文地質条件とを比較検討した。被圧地下水では低周波側（0.1Hz）の地震動振幅と相関が良いが、不圧地下水では高周波側（1Hz）の振幅と相関がよく、地震動のみで液状化を評価した先行研究との差違を示した。地震時の液状化による地下水変化を評価する場合は、水文地質条件も考慮することが重要であることがわかった。また、台湾東部の花蓮における新たな地下水等観測に協力した。

・日本海溝沿いの仙台・石巻平野および福島県北部沿岸での津波堆積物調査とそれに基づく津波シミュレーションから、869 年貞観地震の断層モデルと津波浸水域を推定した。また同様の津波が 500～800 年間隔で襲っており、次の津波発生が満期にあることを明らかにした。その後平成 23 年 3 月に起きた 2011 年東北地方太平洋沖地震では、緊急調査を実施した。そこで明らかになった津波浸水規模が 869 年貞観地震とよく似ていたことから、社会に大きなインパクトを与えた。平成 23 年度以降は第 3 次補正予算による複合地質災害リスクプロジェクト、文部科学省の東北地方太平洋沖で発生する地震・津波の調査観測、南海トラフ広域地震防災研究プロジェクトといった複数のプロジェクトにより、日本海溝、相模トラフ、南海トラフに沿った非常に多くの地域で津波堆積物の掘削調査や海岸地形のレーザー計測などを実施した。これらの調査により、過去数千年間における津波の発生履歴が明らかになりつつある。これら成果をひろく社会に役立てるため、津波堆積物データベースを整備し、平成 26 年 10 月に web 上で公開した。

### 3-(2) 火山噴火推移予測の高精度化

#### [中期目標]

火山噴火予知及び火山防災のための火山情報を提供するため、火山の噴火活動履歴及び噴火メカニズムについて調査・研究を行う。

#### [中期計画]

活動的火山の噴火活動履歴調査を実施し、噴火活動の年代、噴出量、マグマ組成や噴火様式等の変遷を明らかにするとともに、噴火の規則性や噴火様式の時間的変化を支配するマグマの発達過程のモデルを提示する。また、火山噴出物、噴煙、熱・電磁気学的変動、地殻変動等の観測研究により火山活動推移を把握するとともに、室内実験や数値実験との総合解析により、噴火準備、脱ガス及び噴火発生過程のモデルを提示する。さらに、これらの研究成果をもとに、データベースの整備及び火山地質図3図の作成を行うとともに、噴火活動の推移予測の基礎となる噴火シナリオを作成する。

#### 3-(2)-① 火山噴火推移予測の高精度化

#### [中期計画]

・活動的火山の噴火活動履歴調査を実施し、噴火活動の年代、噴出量、マグマ組成や噴火様式等の変遷を明らかにするとともに、噴火の規則性や噴火様式の時間的変化を支配するマグマの発達過程のモデルを提示する。また、火山噴出物、噴煙、熱・電磁気学的変動、地殻変動等の観測研究により火山活動推移を把握するとともに、室内実験や数値実験との総合解析により、噴火準備、脱ガス及び噴火発生過程のモデルを提示する。さらに、これらの研究成果をもとに、データベースの整備及び火山地質図3図の作成を行うとともに、

噴火活動の推移予測の基礎となる噴火シナリオを作成する。

[中期実績]

・活動的火山の噴火履歴調査を行い、これらの成果として火山地質図 3 図(諏訪之瀬島、蔵王、九重)を刊行した。また桜島火山では最新の知見に基づいた改訂版を刊行した。活動度の高い伊豆大島及び三宅島火山では、山頂カルデラの形状、山頂及び山腹噴火の噴火史を明らかにした。K-Ar 及び Ar/Ar 法による年代測定を実施し、北海道、東北、伊豆小笠原、九州等の年代未詳火山岩の噴出年代を明らかにした。日本列島の第四紀火山活動の分布、年代を網羅した「日本の火山(第3版)」を刊行し、これに基づいたデータベースを整備した。日本列島で起こった大規模歴史噴火の噴火推移を時系列で整理した噴火シナリオを作成した。噴火した火山では、迅速な噴出物調査等により活動推移把握を行い、速やかに結果を公表した。

・岩石学的解析により、北海道駒ヶ岳 1640 年噴火および霧島新燃岳 2011 年噴火に先立ってマグマ混合が生じている事を明らかにし、新燃岳ではその発生時期を定量化した。富士火山において過去の噴火の場所、時期、噴出量および爆発性等の関係から、広域応力場および脱ガス過程が噴火の特徴を規制している事を明らかにした。伊豆大島および口永良部島において自然電位観測を行い自然電位分布を明らかにするとともに、それに基づく熱水系シミュレーションにより噴火準備過程における熱水系の変動をモデル化した。口永良部島において GPS 連続観測および InSAR 解析を実施し、地殻変動の時空間変化とその変動源を明らかにした。阿蘇山、口永良部島、浅間山等において火山ガス観測を実施し、熱水系やマグマ脱ガス過程のモデル化を行った。2011 年新燃岳、2013 年西之島、2014 年口永良部島・御嶽山・阿蘇山および桜島の噴火に際して、噴出物の岩石学的解析、火山ガスの観測などを実施し、噴火過程のモデル化および活動推移評価を実施した。

#### 4. 地質情報の提供、普及

[中期目標]

社会のニーズに的確に応じ、地質情報を活用しやすい情報、媒体で提供、普及する。

[中期計画]

社会のニーズに的確に応じるために、知的基盤として整備された地質情報を活用しやすい方式、媒体で提供、普及させる。また、地震、火山噴火等の自然災害発生時やその予兆発生時には、緊急調査を実施するとともに、必要な地質情報を速やかに発信する。

##### 4-(1) 地質情報の提供、普及

[中期目標]

地質の調査に係る研究成果を社会に普及するため、地質図類、報告書等を出版するとともに、電子媒体やウェブによる地質情報の普及体制を整備し、地質標本館の有効活用を図る。また、地方公共団体及び民間における地質情報を活用する取組に対し支援を行う。

[中期計画]

地質の調査に係る研究成果を社会に普及させるため、地質の調査に関する地質図類等の成果の出版及び頒布を継続するとともに、電子媒体及びウェブによる頒布普及体制を整備する。地質標本館の展示の充実及び標本利用の促進に努め、地質情報普及活動、産学官連携、地質相談等により情報発信を行う。また、インターネット、データベース等の情報技術の新たな動向を注視し、情報共有、流通の高度な展開に対応する。

##### 4-(1)-① 地質情報の提供

[中期計画]

・社会のニーズに的確に応じた地質情報提供のための地質情報共有、流通システムを構築する。地質の調査に関する地質図類等の成果の出版及びベクトル数値化等による地質情報の高度利用環境の整備を進める。20以上の地質図類等の出版を行うとともに、6つ以上の既存地質図幅のベクトル化を実施する。

地質図等の研究成果を印刷物、電子媒体及びウェブによって頒布する。国内外の地球科学文献を収集、整備し、閲覧室や公開文献検索システムを通じて社会に提供する。100カ国1,000機関との文献交換と、毎年10,000件以上の文献情報入力を行う。

## [中期実績]

・年度計画に基づき、JIS 基準を適用し、5 万分の 1 地質図幅計 19 件(延岡、野田、戸賀及び船川、熱海、加茂、榛名山、阿仁合第 2 版、足助、京都東南部、新居浜、今庄及び竹波、青森西部、早池峰山、八王子、南部、鴻巣、北川、川俣、冠山)、20 万分の 1 地質図幅計 3 件(新潟第 2 版、大分第 2 版、横須賀第 2 版)、海洋地質図 16 件(No.69~84)、空中磁気図 2 件(No.45・46)、重力図 4 件(No.29~31・S-3)、火山地質図 4 件(諏訪瀬島、桜島第 2 版、蔵王、九重)、200 万分の 1 地質編集図(No.11)、特殊地質図(No.40)、水文環境図(No.7・8)、土壌評価図(E-5・6)、海陸シームレス地質図(S-2~4)、燃料資源図(FR-3)、アジア地質図、アジア鉱物資源図)など多様な地球科学図類を出版した。

また、地質調査研究報告のオンラインジャーナル化を進め、出版を冊子のみから、Web 出版物を主体とし、利便性を高めた。これらを、「科学技術情報発信・流通総合システム」(J-STAGE)上においても電子ジャーナルとして提供を始めた。

・1)平成 24 年度に、出版物の在庫管理及び頒布等の業務効率化を目的として「出版物在庫管理システム」を構築しその後改良を重ね、操作性及び各種機能を向上した。

2)オンデマンド印刷は、平成 22 年度には 243 部であったが、その後増加し、平成 24 年及び 25 年は年間 500 部を超えた。平成 25 年度にオンデマンド印刷の受付、代金請求及び発送に関する事務手続きをアウトソーシングした。これにより出納等の事務手続きを大幅に削減でき、その結果、ユーザへの迅速な提供が可能となった。

3)平成 23 年度の大震災後に図書室等の再配置があり、在庫出版物の移動及び永久保存版資料等の整備を行った。これにより従来よりも効率的に出版物の在庫管理及び頒布等の業務を行うことが可能となった。

・1)地質分野における情報提供体制の全体設計に基づき、5 万分の 1 地質図幅、20 万分の 1 地質図幅を主に 429 枚の既刊及び新規出版地質図のデータを作成した。今期の実績により、地質調査総合センター(旧地質調査所)発行の既刊地質図類のラスターデータ作成・整備を完了(今後の新刊地質図は出版後速やかに順次作成・整備を行う。)した。

2)また、非公開研究用途の既存ラスターデータ類の品質を見直し、低品質なデータについては順次再作成し補完を行い、所内公開(Web 配信及び CD-ROM 提供)を開始した。

3)非公開研究用途の他に地質情報のオープンデータ化の一環として、新たに整備したラスターデータを原本データとして、地質図カタログ Web ページから 2 種類のフォーマット(jpeg、GeoTIFF)で公開した。

・地質情報の二次利用促進のための情報提供体制の整備にともない、成果の電子化・標準化を推進した。社会における地質情報二次利用促進に向け「地質図ベクトルデータダウンロードサイト」を構築し、5 万分の 1 地質図幅 100 面分のベクトルデータを公開した。政府のオープンデータ施策に鑑み、「地質図ベクトルデータダウンロードサイト」から当初のユーザ認証機能を省き、利便性を向上させた。出版済み地球科学図類「5 万分の 1 地質図幅 146 面」「20 万分の 1 地質図幅 8 面」「火山地質図 4 面」「海洋地質図 21 面」のベクトルデータ作成を行い、公開準備を進めた。「200 万分の 1 地質編集図 11 日本の火山(第 3 版)」「アジア地質図」のベクトルデータの公開へ向けての整備を行った。

・地質図配信のシステムを、それまで運用していた統合地質図データベース(GeoMapDB)から新たに開発した地質図 Navi に変更した。これにより、より高速な表示と、他機関の情報も含む様々な地理空間情報の重ね合わせを可能にした。地質情報データベース全体の入り口となる台帳系ポータルを制作し、専門用語を知らないユーザであっても、キーワードおよびカテゴリから関係するデータベースを選択し、希望する地質情報により容易にアクセスできる環境を整備した。国際標準である WMS / WMTS 形式での情報配信用に専用のポータルページをつくり、より利用しやすいサービスを実現した。利用団体へのアンケート、定常的なソーシャルメディア分析を行い、ユーザ意見を収集するシステムを確立した。また、ウェブサイト上で不特定多数のユーザ意見を収集する「ご意見・ご要望」のページの開設準備を進めた。

・地質文献データベースの継続的な入力、検索方法の改善及び統合・クラウド化・高度化を実行した。

1)今期のデータ入力は、平成 26 年度末現在で、統合版 GEOLIS85,624 件(総数 455,721 件)、貴重資料データベース 614 件(総数 886 件)であった。

2)日本地質文献データベースと世界地質図データベースは、データベース自体の完全統合を行い「統合版 GEOLIS」として公開した。

3)貴重資料データベースは入力・検索システムのみ「統合版 GEOLIS」へ統合した。

4)「統合版 GEOLIS」と「貴重資料データベース」をクラウド上に移設した。

5)「なかよし論文データベース」を GEOLIS エリア内での構築へ切り替えた。



6)統合版 GEOLIS を他のデータベースとの連携機能を強化した高度化改修を行った。

7)統合版 GEOLIS 機能と同様な地図検索インターフェースを持つ「地質標本データベース」の再構築を完了した。

8)統合版 GEOLIS の LOD 化に関して検討した。

・1)新規発行地質図類の JMP2.0 仕様メタデータを国土地理院の政府クリアリングハウス上に登録していくためにシステムのリプレースや第2事業所への移動を行い、平成22年度～平成27年1月まで新規発行分72件を登録した。同メタデータの登録・検索等が可能な産総研 Google サイトを所内公開した。

2)機関アーカイブ事業を開始し、軌道に乗せる事ができた。まず事業の設計・ガイドラインの作成・人員や機材の配置を行い、産総研に導入されていたクラウド基盤システム上にアーカイブシステムのプロトタイプを構築した。次に、退職者等からの出版済データを対象に、試験登録と業務改良を繰り返し、平成26年度原稿提出の5万分の1地質図幅や、本年度退職予定者からのデータ登録作業を始めるまでに至った。並行してシステム改良を進め、緯度経度入力機能・決済等を回すワークフロー機能等を追加した。今期末に、産総研クラウド基盤システムが契約終了となることに備えて、機関アーカイブシステムを別のクラウド上に導入するオープンソース文書管理システムに移植し、処理速度・操作性等の大幅な改良に取り組んだ。

・1)今期も継続的に多くの文献交換や資料類の収集・整備・保存及び提供を行った。また、今期は、鉱山関係資料、ロシア語資料、明治期資料等未整理資料の整理に着手した。さらに、第一業務室図書チームと連携し、つくば地区図書室集約化を実施し、これにあたり重複資料の整理等を行った。2)近年のオンライン資料の増加により、新たな収集・受入れ方法等の検討を行い、最初の一步として外国出版社のオンラインジャーナルを対象とし、統合版 GEOLIS 入力システムと連携したシステムを構築した。各オンラインジャーナルの書誌データについて、RSS 発信データの取得を行い、統合版 GEOLIS に採録するデータの取捨選択が行えるようにして、さらに統合版 GEOLIS 入力システムにデータ登録できるようにした。3)GEOLIS に活断層位置図データを登録することを検討した。メタデータの GEOLIS 登録、位置図のベクトル化を試験的に行い、GIS データ配信の検討を行った。

・コンテンツ管理システム(CMS)を導入し、新しいウェブサイトを構築した。地質調査総合センターにおいて蓄積された膨大な旧コンテンツを変換、取捨選択、調整した。CMS から出力される静的コンテンツは、災害時等においても継続して情報配信できるよう、外部ホスティングサービスを利用して公開を開始した。常時 SSL 化等によって信頼性を向上させた情報提供の体制を整えた。既存ページの整合性チェックと統制の取れた記事蓄積を目指し、地質調査総合センター内にホームページ見直しワーキンググループを立ち上げて関連ルールを提案し、地質調査総合センター内の共通ルールとして制定させた。地質情報の二次利用に関して、クリエイティブ・コモンズ体系を取り入れた新ガイドラインの導入に対応して、公開情報の表記を順次変更した。より安定で効率的な CMS 環境に移行すると共に、システムの多重化、ネットワークセキュリティ向上の対応を行った。政府のオープンデータ施策に沿って地質図画像情報の配信準備ならびに5万分の1地質図幅説明書の pdf を地質図カタログからダウンロード可能な形で公開を開始した。

・社会のニーズに的確に応じた地質情報提供のための地質情報共有、流通システムの構築のために、所内情報の共有及び流通促進を行うべく、エンタープライズサーチシステムを導入、膨大なファイル群の検索、表示等の共有実験を行った。また、機関リポジトリのために DSpace を導入し、地質文献データベースをサンプルデータとした運用試験を行った。しかし、震災の影響による予算使途の効率化に伴い、所内情報の共有よりも外部への情報配信に重点を置いたため、エンタープライズサーチシステムの運用は取りやめた。代わりとして情報統合化のために地質関連 DB の区分化などを行い、旧 RIO-DB の地図系データバンクへの移行の礎となる成果を得ることで、地質情報の所内共有という目的を達成した。

・産総研 RIO-DB の廃止という大きな変化を受け、データベースを分野で管理すべくクラウドサーバ運用の環境整備、内規の改定、データベースの変換・移転を行い、新たなドメインでの正式運用を実現した。国のオープンデータ政策を受け、配信情報の二次利用を促進するため、クリエイティブ・コモンズライセンスを取り入れた利用ガイドラインを他機関に先駆けて策定し、運用を開始した。国際標準である WMS / WMTS 形式での情報配信を開始し、順次コンテンツの拡充を行った。ユーザが地質情報をより容易に表示できるビューアを、オープンソースソフトウェアとして開発・公開した。二次利用の際に障害となる専門用語を、平易な文章と画像で解説する一般向け解説サイトを新たに制作・公開するとともに、コンテンツの拡充に努めた。

#### 4-(1)-② 地質情報の普及

#### [中期計画]

・地質情報普及のため、地質標本館の展示の充実及び利用促進に努め、地質情報展、地質の日、ジオパーク等の活動を行う。また、産学官連携、地質相談業務、地質の調査に関する人材育成を実施し、展示会、野外見学会、講演会等を主催する。さらに、関係省庁、マスコミ等からの要請に応え正確な情報を普及させる。具体的には、地質標本館では、年3回以上の特別展や、化石レプリカ作りのイベント等を実施し、年30,000人以上の入場者に対応する。また、つくば科学フェスティバル出展対応を毎年実施する。ジオネットワークつくばにおいて、10回以上のサイエンスカフェと6回以上の野外観察会を実施する。地質情報展を毎年開催し、1,000名以上の入場者に対応する。地質の日については、イベントを毎年実施する。ジオパーク活動については、日本ジオパーク委員会(JGC)を年2回以上開催し、世界ジオパークを2地域以上、日本ジオパークを5地域以上認定するための支援活動を行い、地域振興に貢献する。

#### [中期実績]

・毎年3回以上の特別展を行うとともに、そのテーマに関連した2回以上の特別講演会を開催した。年に数回程度の館内イベントを実施した。エントランスホール天井の日本列島周辺の地震の震源分布、第2展示室の海洋展示、第3展示室の地熱エネルギーのコーナー等、大型の展示改修を行った。見学者の理解の助けとなるよう、展示ポスターの縮刷をパンフレットとして印刷製本し配布した。化石レプリカ作り、化石クリーニングなど年に数回程度の館内イベントを実施し、また団体見学者等への展示解説を通じ、「地質の調査」への興味や関心を深めていただけるよう、対話型の説明案内に努めた。活断層剥ぎ取り標本などの展示の理解を助ける解説チラシの整備を行った。毎年750件程度の地質相談に対応した。

・地質調査総合センターの研究成果を発信するため、毎年9月の日本地質学会学術大会に合わせて、富山市、水戸市、大阪市、仙台市、鹿児島市において、地質情報展を開催した。子供向けの実験を行うとともに研究成果をわかりやすく解説したパネルを展示し、特に大阪市では、4000名を越える来場者があった。また、毎年、地球科学に関する国内最大の学会である日本地球惑星科学連合大会へのブース出展のほか、埼玉県地震対策セミナー(平成22、23、24、26年度)、第5回ジオパーク国際ユネスコ会議(平成24年5月)などにブース出展するとともに、地質調査総合センターによる第34回万国地質会議(平成24年8月)や国際火山学地球内部化学協会総会(平成25年7月)へのブース出展に協力し、研究成果品の紹介、普及に努めた。

・移動地質標本館として地質情報展や、産総研地域センター一般公開、地方の博物館に出展参加し、体験イベントを行うとともに地質調査総合センターの成果をわかりやすく解説したパネルを展示し、地質分野の成果普及に努めた。また、広島県、埼玉県、福井県等の教育委員会等に対して地質調査総合センターの研究成果等を紹介した。香川県三本松高校等のスーパーサイエンスハイスクール指定校に対して、体験学習プログラムや研究者の講演会による研修を毎年数回ずつ実施し、高校生の自然観育成、科学理解増進を助けた。一般市民を対象とする地質見学会を栃木県葛生市や茨城県北部及び南部で毎年開催した。さらに、地学オリンピック本選出場者向けの普及講演会を行うとともに、地学オリンピックの問題作成と採点に協力した。

・ジオネットワークつくばにおいて、サイエンスカフェを15回、野外観察会を6回開催した。人材育成として、平成23年度にジオマイスター初級13名、中級20名を認定し、その後のフォローアップ研修を継続し、毎年数回~20回程度の野外・室内研修を行った。JSTの予算支援終了後の平成24年度以降は、ホームページやメーリングリストによるネットワーク参加機関のイベント情報の周知やジオマイスターの育成のためのフォローアップ研修を中心として活動した。各年度の活動の締めくくりとして、つくばエキスポセンターでイベント「ジオネットの日」を開催し、筑波山の地形地質の紹介、つくばセンター地区の石材ツアー、つくばエキスポセンター内の壁や床の化石探し等の体験学習イベントを実施した。

・「地質の日」事務局として全国各地の関係機関等に関連イベント企画を呼びかけ、集約してホームページで紹介して、「地質の日」事業の推進の支援をした。「地質の日」イベントは毎年全国各地で90件~100件前後行われ、各年10万人以上が参加した。日本ジオパーク委員会事務局として、毎年3回の委員会を開催し、新たな日本ジオパーク地域の認定、世界ジオパーク申請候補の審査、日本ジオパークの4年ごとの再認定審査を支援した。この結果国内のジオパークは世界ジオパーク7地域を含む36地域となった。また、講演等を通じて、世界・日本各地のジオパークの普及に協力した。GSJシンポジウム事務局として、地質分野各ユニットの提案を受けて毎年1~2回のシンポジウムを開催した。

・産総研地質分野の広報誌「地質ニュース」を平成23年3月まで発行し、平成24年1月から新たに「GSJ地質ニュース」の編集・発行を開始した。「GSJ地質ニュース」は、月刊で発行し、そのPDFを毎月中頃WEB公開した。産総研一般公開に関する報告記事やGSJシンポジウムに関する報告記事、新刊の地質図幅等の紹介記事等を「GSJ地質ニュース」に掲載した。また、御嶽火山噴火や長野県北部地震等の地質災害発生後

の地質調査総合センターの緊急調査報告を速報として掲載した。これらのことで地質分野に関する最新情報を読者に提供できた。活断層・地震研究センターニュース(月刊:平成 25 年度まで)、活断層・火山研究部門ニュース(隔月:平成 26 年度以降)や GREEN NEWS(季刊)を研究ユニットで編集・発行した。

#### 4-(2) 緊急地質調査、研究の実施

##### [中期目標]

地震、火山噴火をはじめとする自然災害発生に際して、社会的な要請等に機動的に対応して緊急の調査、研究を行うとともに、必要な関連情報の発信を行う。

##### [中期計画]

地震、火山噴火等の自然災害時には緊急の対応が求められることから、災害発生時やその予兆発生時には、社会的要請に応じて緊急の地質調査を速やかに実施する。具体的には、想定東海地震の観測情報等発令時、国内の震度6強以上を記録した地震、又は M6. 8以上の内陸地震及び人的被害の想定される火山噴火のすべてに対応する。すべての緊急調査について、ホームページ上で情報公開する。

#### 4-(2)-① 緊急地質調査、研究の実施

##### [中期計画]

・地震、火山噴火等の自然災害時には緊急の対応が求められることから、災害発生時やその予兆発生時には、社会的要請に応じて緊急の地質調査を速やかに実施する。具体的には、想定東海地震の観測情報等発令時、国内の震度6強以上を記録した地震、又は M6. 8以上の内陸地震及び人的被害の想定される火山噴火のすべてに対応する。すべての緊急調査について、ホームページ上で情報公開する。

##### [中期実績]

・地震や火山噴火等の地質災害に際して、地質の調査に係わるナショナルセンターとして、社会的要請に応じて緊急調査のための実施体制を組織した。平成 23 年に発生した東北地方太平洋沖地震や、平成 26 年度に発生した長野県北部地震においては、緊急調査対応本部を設置し、既存の調査および研究情報を収集し、必要な地質調査及び研究を速やかに実施した。また、火山噴火等にも対応し、情報収集や発信を行なうとともに現地での火山灰や岩石、火山ガス等の地質調査を行った。それらの情報は火山噴火予知連絡会(気象庁)や地震調査研究推進本部(文科省)等に提供した。調査報告や関連情報をホームページ等で正確に一般向けに情報発信するとともに、メディア等からの取材要請に対して、研究活動の支障の無い範囲で協力した。

・平成 23 年 3 月 11 日発生 of 東北地方太平洋沖地震の緊急調査が地質分野の研究ユニットにより行われ、その調査報告や関連情報が産総研地質調査総合センターのホームページ上に公開され、同時に地質標本館において、研究ユニットや地質調査情報センター・地質分野研究企画室と連携して、この緊急調査報告の速報展示を同年 4 月 13 日から第 7 事業所本館ロビーで開始した。平成 26 年 9 月 27 日噴火の御嶽火山の緊急調査に際しても、その調査報告が GSJ ホームページと地質標本館ロビーで公開された。このほかにも地震や火山噴火があり、その調査報告や関連地質情報を随時 GSJ ホームページ上に掲載・更新した。また、豪雨による土砂災害 10 件について、GSJ として、その地質学的背景となる地質情報をホームページ上に掲載した。

#### 5. 国際研究協力の強化、推進

##### [中期目標]

地質に関する各種の国際組織及び国際研究計画に参画するとともに、産総研が有する知見を活かし、国際的な研究協力を積極的に行う。

##### [中期計画]

産総研がこれまでに蓄積した知見及び経験を活かし、アジア太平洋地域及びアフリカを中心とした地質に関する各種の国際組織及び国際研究計画における研究協力を積極的に推進する。地質災害の軽減、資源探査、環境保全等に関する国際的な動向及び社会的、政策的な要請を踏まえ、プロジェクトの立案、主導を行う。

## 5-(1) 国際研究協力の強化、推進

### [中期目標]

アジア、アフリカ、南米地域を中心とした地質に関する各種の国際研究協力を積極的に推進する。

### [中期計画]

産総研がこれまでに蓄積してきた知見及び経験を活かし、アジア、アフリカ、南米地域を中心とした地質に関する各種の国際研究協力を積極的に推進する。地質情報の整備、地質災害の軽減、資源探査や環境保全等に関する研究プロジェクトを国際組織及び国際研究計画を通して推進する。東・東南アジア地球科学計画調整委員会(CCOP)の総会・管理理事会に毎年参加するとともに、CCOPプロジェクトを実施する。統合国際深海掘削計画(IODP)や OneGeology(全地球地質図ポータル)、世界地質図委員会(CGMW)等の国際プロジェクトにおいて、アジアの地質図編集やデータ整備等について貢献する。

産総研が事務局を担当する日本ジオパーク委員会でジオパーク審査標準を構築し、アジア地域を中心にジオパーク活動を普及させる。アジア太平洋ジオパークネットワーク(APGGN)・世界ジオパークネットワーク(GGN)の活動に貢献する。

## 5-(1)-① 国際研究協力の強化、推進

### [中期計画]

・産総研がこれまでに蓄積してきた知見及び経験を活かし、アジア、アフリカ、南米地域を中心とした地質に関する各種の国際研究協力を積極的に推進する。地質情報の整備、地質災害の軽減、資源探査や環境保全等に関する研究プロジェクトを国際組織及び国際研究計画を通して推進する。東・東南アジア地球科学計画調整委員会(CCOP)の総会・管理理事会に毎年参加するとともに、CCOPプロジェクトを実施する。統合国際深海掘削計画(IODP)や OneGeology(全地球地質図ポータル)、世界地質図委員会(CGMW)等の国際プロジェクトにおいて、アジアの地質図編集やデータ整備等について貢献する。

産総研が事務局を担当する日本ジオパーク委員会でジオパーク審査標準を構築し、アジア地域を中心にジオパーク活動を普及させる。アジア太平洋ジオパークネットワーク(APGGN)・世界ジオパークネットワーク(GGN)の活動に貢献する。

### [中期実績]

・第3期においては、平成22年11月にベトナムのハイフォン、平成25年3月にマレーシアのテレンガヌ、平成26年2月にタイのラヨー、平成26年年3月にインドネシアのバンドン、平成27年年3月に韓国のプサンにおいて、沿岸地質、沿岸侵食、沿岸環境管理などに焦点を当ててCCOPプロジェクトの「東南アジアと東アジアのデルタにおける統合的地質アセスメント(DelSEA)」及びその関連会合を開催し、12ヶ国から延べ200名を超える参加があった。また、中国、韓国、マレーシア、インドネシア、タイにおいて二国間等を軸としたワークショップや講演会を行った。これらに加えて、中国、韓国、フィリピン、ベトナム、台湾から延べ25名の研究者を、合計で800日人以上産総研に受け入れ、これらを通じて、当該地域のネットワーク構築と人材育成に貢献した。

・第3期中期中を通じて、IODPの推進のため、日本地球掘削科学コンソーシアムの理事機関として運営に貢献した。J-DESC、IODP部会ならびに陸上掘削部会の幹事および執行部委員を多数派遣し、また、国際パネル委員、国内専門部会委員として毎年日本地球掘削科学コンソーシアムの運営に関与し、日本の掘削科学の発展に貢献した。第3期中期中にはIODPが計画した航海に年平均3名の研究者が乗船した。ICDPが計画したニュージーランドアルパイン断層掘削には2名の研究者が参加した。また、日本地球掘削科学コンソーシアムコアスクール講師として大学生・院生を対象とした海底コア解析の基礎や岩石記載に関する指導をし、若手の人材育成にも貢献した。さらに平成26年度からはGSJもこのコアスクールの共催として活動を行った。

・CCOPにおける活動では、産総研の支援によるプロジェクトとして、ベトナムとタイの平野地域の水文環境図の出版、デルタ地域地質環境に関するワークショップ主催を通して、東南アジア地域の地質情報整備を主導し技術指導を行った。平成25年のCCOP年次総会を仙台市で開催するとともに、地質災害をテーマとする講演会を開催し、各国の地質災害研究、支援政策の情報収集を行った。OneGeologyコンソーシアムでは、新しい運営体制の検討に参加するとともに、東南アジアのデータ整備の取りまとめを担当し各国の地質図データ登録を技術的に支援した。ASEAN諸国からの要請に応え、鉱物資源データベース構築の協力と技術指導

を行った。産総研提案による国際協力プロジェクト G-EVER(アジア太平洋地域大規模地震・火山噴火リスクマネジメント)を開始し、平成24年2月以降、計4回の国際ワークショップを開催した。世界地質図委員会のプロジェクトとして東・東南アジア地域地震火山災害図作成をCCOP 関係国とともに開始した。

## 《別表3》 計量の標準(計量標準の設定・供給による産業技術基盤、社会安全基盤の確保)

### I. 計量の標準(計量標準の設定・供給による産業技術基盤・社会安全基盤の確保)

#### [中期目標]

産業、通商、社会で必要とされる試験、検査や分析の結果に国際同等性を証明する技術的根拠を与え、先端技術開発や産業化の基盤となる計量の標準を整備するとともに、計量法で規定されている法定計量業務を的確に行うことにより、我が国経済活動の国際市場での円滑な発展、国内産業の競争力の維持、強化と新規産業の創出の支援、グリーン・イノベーション及びライフ・イノベーションの実現に貢献する。

#### [中期計画]

我が国経済活動の国際市場での円滑な発展、国内産業の競争力の維持、強化、グリーン・イノベーション及びライフ・イノベーションの実現に貢献するため、計量の標準の設定、計量器の検定、検査、研究、開発、維持、供給及びこれらに関連する業務、並びに計量に関する教習を行う。その際、メートル条約及び国際法定計量機関を設立する条約の下、計量標準と法定計量に関する国際活動において我が国を代表する職務を果たす。

具体的には、産業構造審議会産業技術分科会、日本工業標準調査会合同会議知的基盤整備特別委員会の方針、見直し等を踏まえて、計量標準に関する整備計画を年度毎に改訂し、同計画に基づき計量標準の開発、維持、供給を行う。計量標準、法定計量に関して国際基準に適合した供給体制を構築して運営し、国家計量標準と発行する校正証明書及び法定計量の試験結果の国際相互承認を進めるとともに、我が国の供給体系の合理化を進める。特に、新規の整備及び高度化対象となる計量標準に関しては、先端技術の研究開発や試験評価方法の規格化と連携して一体的に開発を進める等、迅速に整備し、供給を開始する。また、我が国の法定計量の施策と、計量標準の戦略的活用に関して、経済産業省の政策の企画、立案に対して技術的支援を行う。

#### 1. 新たな国家計量標準の整備

#### [中期目標]

我が国経済及び産業の発展、あらゆる計測の信頼性を産業と社会が共有するために信頼性の源となる国家計量標準を引き続き開発、整備するとともに、新たな計量標準については迅速に供給する。特に、環境への負荷低減(低炭素社会の実現、物質循環型社会の実現)、国民生活の安心・安全社会の実現、健康長寿社会の実現、技術革新による次世代産業の推進、及び国際通商の円滑な実施を支える国家計量標準については、産業界や社会の要請に即応して整備し、多様な供給の要請に対して柔軟に対応する。

#### [中期計画]

新たに必要となる国家計量標準を迅速に開発、整備し、供給を開始する。具体的にはグリーン・イノベーションの実現に必要な省エネルギー技術や新燃料等の開発、評価を支える計量標準の開発を行う。また、ライフ・イノベーションの実現に必要な医療診断、食品安全性、環境評価等を支える計量標準の開発を行う。さらにナノデバイスやロボット利用技術等、我が国の技術革新や先端産業の国際競争力を支える計量標準の開発を行う。新たな開発を行う標準の選定にあたっては、整備計画の改訂に従い、技術ニーズや社会ニーズを迅速に反映させる。また、国際規格や法規制に対応した計量標準を整備し、我が国の円滑な国際通商を支援する。

##### 1-(1) グリーン・イノベーションの実現を支える計量標準の整備

#### [中期目標]

グリーン・イノベーションの推進に必要な計量標準を早急に開発、整備し、供給する。

#### [中期計画]

グリーン・イノベーションの推進に必要な計量標準の早急な開発、整備を行い、供給を開始する。具体的には、水素エネルギー、燃料電池等の貯蔵技術、利用技術の推進、省エネルギー・エネルギー効率化技術の開発を支援する計量標準の開発、整備を行い、供給を開始する。また、バイオマス系資源の品質管理や安定性評価に必要な標準物質、資源再利用システムの信頼性評価に必要な標準物質をニーズに即応した開発、整備を行い、供給を開始する。

#### 1-(1)-① 新エネルギー源の利用に資する計量標準

##### [中期計画]

・水素エネルギー、燃料電池及び電力貯蔵キャパシタの利用に必要な気体流量標準、気体圧力標準、電気標準、燃料分析用標準液等について、新たに4種類の標準を開発、整備し、供給を開始する。

##### [中期実績]

・水素エネルギー利用技術に資する計量標準として気体高圧力標準を確立するために、平成 22 年度までに 20 MPa までの気体圧力標準を整備した。平成 23 年度からはその圧力範囲をさらに広げるために、圧力制御装置や重錘形圧力天びんを整備した。既に 1 GPa まで確立している液体高圧力標準を用いて気体圧力を精度よく計測するために、液体潤滑型ピストン・シリンダを新たに導入し、その有効断面積を評価した。設定圧力を変化させると、媒体の温度も変化するため、100 MPa までの圧力を 10 %刻みで変化させたときに、5 分程度の待ち時間で数 ppm 以内の十分な圧力安定性が得られることなどを確認し、圧力計測システムの特性評価なども行った。平成 25 年度からは、安全対策として金属製の防護壁を整備するとともに、重錘の機械的な加除と圧力制御を自動化し気体圧力計測を完全自動化した。平成 26 年度は 70 MPa までの気体高圧力計測における総合的な不確かさを評価し、その相対拡張不確かさが 0.004 % ( $k=2$ ) であることを確認し、この圧力範囲における依頼試験による校正サービスを開始した。

・水素エネルギー・燃料電池の利用促進、省エネ・エネルギー効率化の推進に必要な水素ガス流量標準 (5 mg/min~113 g/min、拡張不確かさ 0.04%~0.46%) および都市ガス流量標準 (メタンガス、8 mg/min~318 g/min、拡張不確かさ 0.05%~0.23%) を確立し、標準供給を開始した。猛烈な台風や竜巻の観測の信頼性を確保するために、風速 40 m/s~90 m/s の標準供給を拡張不確かさ 1.6%で開始した。

・新エネルギー源に資する蓄電デバイスの性能評価技術を確立することを目的とし、交流インピーダンスや充放電等の電気特性評価法の高精度化を推進した。第 2 期迄に確立した既存の標準を基準に、大容量キャパシタンス測定の高精度化への橋渡し技術となる交流ブリッジ回路を構築し、1 mF のキャパシタンス標準を開発した。この技術をもとに、実際の蓄電デバイスの性能劣化診断に適用可能な評価技術開発を推進した。実際のデバイスは、抵抗、キャパシタンスやインダクタンスを含んだ、複合的内部インピーダンスを持つ。加えて、高性能蓄電デバイスは、1 m $\Omega$  程度の低インピーダンスを持つなど、性能評価の高精度化が求められてきた。これを定量的に評価可能な技術として確立するため、蓄電デバイス評価装置の開発とともに、評価治具の試作及び評価、蓄電デバイスのインピーダンスを模擬するデバイスの開発を行ない、0.1 m $\Omega$  の分解能で 1 m $\Omega$  程度まで定量的に測定可能な技術の確立について、一定の成果を得た。加えて、蓄電キャパシタの静電容量を校正する標準を開発するなど、蓄電デバイスの性能評価法の信頼性向上に寄与した。

・新規認証標準物質として、燃料中硫黄分分析用標準液-高濃度、ジブチルスルフィド(燃料中硫黄分分析用-高純度)の 1 種類 2 物質を開発し、3 期における 1 種 2 物質以上の開発、という目標を達成した。また、既存の関連 2 物質 (燃料中硫黄分分析用標準液およびトルエン (燃料中硫黄分分析用-ブランク)) も含めて安定性評価と維持管理を行い、うち 1 物質については有効期限の延長を行った。さらに、トレーサビリティをより確実にするための硫黄濃度の決定法として、原料物質の純度評価と質量比混合法を組み合わせた方法および燃焼-紫外蛍光法に加えて、イオンクロマトグラフを検出器として用いた高感度分析法を確立した。国際比較については、CCQM-K123/P157 (バイオディーゼル燃料の元素分析) を NIST と共同主催し、硫黄分を含む 6 元素の分析値について、他の機関との整合性を確認した。

#### 1-(1)-② 省エネルギー技術の開発と利用に資する計量標準

##### [中期計画]

・運輸システム、オフィス、住宅、ビル、工場等における省エネルギー技術開発に必要な高周波電気標準、光

放射標準、熱流密度標準等について、新たに7種類の標準を開発、整備し、供給を開始する。

[中期実績]

・1)マルチ GNSS 方式による時間周波数標準の供給法確立に向け、GNSS 受信装置の設計に必要な各種測位衛星のシステムパラメータ抽出を行った。特に国産の準天頂測位衛星を主導する JAXA と連携し、GNSS 受信装置の設計指針を作成した。

2)時間周波数標準供給の要である UTC(NMIJ)が大震災によりダウンした。このため UTC(NMIJ)の源振である水素メーザ 4 台の仮立ち上げと調整に傾注した。これにより周波数遠隔校正サービスの早期再開ができた。また夏場の厳しい電力環境下で、温度敏感な原子時計の周波数調整を高頻度を実施し、UTC(NMIJ)の不確かさが大きくならないように運用した。最終的に 4 台の故障水素メーザを完全復旧させ、高信頼な国家標準 UTC(NMIJ)を最構築した。この高信頼標準を用いて、現在 17 社のユーザに周波数遠隔校正サービスを提供している。

3)水素メーザ及びセシウム原子時計の出力信号間の時間差測定の高精度化の検討を行い、デュアルミキサ-時間差測定法(DMTD 法)による装置を完成させ運用を開始し目標を達成した。

・産業分野において大幅な省エネが可能な高温ヒートポンプに利用される作動流体候補物質の熱物性評価に対応するため、磁気浮上密度計を用いた PVT 性質計測システムの温度・圧力範囲を 150°C、20 MPa まで拡張し、品質システムを確立した。作動流体候補物質に関しては、地球温暖化係数(GWP)の小さい低 GWP 冷媒新物質である、HFO1234yf、HFO1234ze(E)、HFO1234ze(Z)、高温ヒートポンプ用冷媒候補物質 R245fa を含む純粋冷媒および混合冷媒に関して、PVT 性質、蒸気圧、気液平衡性質ならびに気体の音速を測定し、対象物質に関する状態方程式を作成した。HFO1234yf ならびに HFO1234ze(E)に関しては、国内外の実測値を網羅したデータベースを作成し、状態方程式の信頼性を評価したうえで、冷凍空調学会から冷媒熱力学表(JARef)として発行し、低 GWP 冷媒を用いたエアコン・ヒートポンプ技術の向上を支援した。

・新たな国家計量標準の整備における省エネルギー技術の開発・利用に関する計量標準として、ホーンアンテナの利得・偏波分離度標準および散乱断面積標準の開発整備を推進した。ホーンアンテナの利得・偏波分離度標準では、18 GHz~26.5 GHz 帯の任意周波数に対応した早期標準供給に対する校正事業者からの強い要望があり、5.8 GHz~18 GHz 帯の計画を先送りし、ミリ波電波暗室内において外挿法を用いた 18 GHz~26.5 GHz 帯校正システムを優先して整備し、さらにミリ波帯である V バンド(50 GHz~75 GHz)および W バンド(75 GHz~110 GHz)の校正システムを開発し標準供給を開始した。モノスタティックレーダ散乱断面積(RCS)標準では、75 GHz~110 GHz 帯標準ターゲットである三面コーナーリフレクタ校正のためのミリ波帯高精度計測システムおよび標準ターゲット評価技術を確立し標準供給を開始した。

・1)高強度 LED 全光束標準用の被校正器物として用いる標準 LED に対して、温度特性等諸特性評価や標準器としての妥当性評価を行い、当該標準 LED の開発・評価を完了させた。併せて、LED 用 V( $\lambda$ )受光器の特性評価等を通じた比較校正光学系の評価を行い、高強度 LED 全光束標準の校正技術、不確かさ評価技術を確立した。2)分光全放射束標準具現用の配光測定装置の制御ソフト整備とマルチチャンネル分光検出器の整備、及び、測定条件最適化を行った。併せて被校正候補電球の配光・経時変化等の評価と最適電球の選別および枯化条件最適化を行い、分光全放射束標準の具現を行った。更に当該電球を元にワーキングや被校正電球の比較校正を行う際に必要となる分光式球形光束計の校正用ソフト整備・校正手順最適化・不確かさ評価等を行い、分光全放射束標準の校正技術、不確かさ評価技術を確立した。3)紫外域での高強度 LED 全放射束標準の被校正器物として用いる標準 LED の点灯条件と制御温度の影響を評価し、当該標準 LED の開発・評価を完了させ、比較校正の際の各種不確かさの評価を行い、紫外域での高強度 LED 全放射束標準の校正技術、不確かさ評価技術を確立した。

### 1-(1)-③ バイオマス資源の利用技術に資する計量標準

[中期計画]

・バイオガソリン、バイオディーゼル等、バイオマス資源の品質管理、成分分析、安定性評価等利用技術に必要な標準物質について、新たに5種類開発、整備し、供給を開始する。

[中期実績]

・石油小流量の依頼試験の範囲を順次拡張し、灯油および軽油の 2 種類の流体を用いて、0.00002 m<sup>3</sup>/h~0.1 m<sup>3</sup>/h の流量範囲で、拡張不確かさ 0.020%~0.0050%(質量流量)、0.064%~0.078%(体積流量)での標準供給を確立した。当初の流量範囲の目標(0.00005 m<sup>3</sup>/h~0.1 m<sup>3</sup>/h)に比べてより広い流量範囲を達

成した。

・CO<sub>2</sub> 排出削減に有効な石油代替燃料として期待されるバイオ燃料の早期の市場流通実現に資する計量標準として、燃料の品質管理に必要な密度・粘度標準の開発・整備を実施した。

バイオ燃料は、大気中の水分吸湿や酸化影響を受けやすく、物性が不安定となるものが多い。そこで、より測定精度の高い密度測定については、低露点・低酸素濃度に環境を制御したグローブボックス内でバイオ燃料サンプルを取り扱い、外気に触れさせることなく振動式密度計へと充填し、不安定性の影響を排除した形で密度を精密計測するシステムを構築した。振動式密度計を複数の密度標準液を用いて校正することで、SI トレサブルな密度標準データを 5℃から 90℃の温度範囲にて取得できる校正システムを実現した。粘度については標準物質試料に対して現行装置による試験測定と不確かさ評価を実施し、校正システムを構築した。以上により、平成 25 年度にバイオ燃料の密度・粘度校正システム整備と品質システム確立を完了し、開発が進められているバイオ燃料標準物質に対する密度・動粘度認証値追付与のための校正実施を可能にした。

・3 期には、新規にバイオエタノール(認証値:水、メタノール、硫黄、銅)および低濃度水分分析用標準液(認証値:水)、更新ロットとして高純度エタノール(認証値:純度、参考値:炭素 14 含量)を開発した。また、これら標準物質の安定性評価と維持管理を行い、2 物質については有効期限の延長を行った。バイオディーゼル燃料標準物質については、水道法改訂への対応を優先したために認証には至らなかったが、代わりにフェノール類など緊急性の高い水道法関連基準物質の整備を進めることができた。平成 27 年度に認証するための準備はおおむね完了したので、中期計画における 3 種 4 物質以上の開発、という目標はほぼ達成できた。国際比較については、CCQM-P129(バイオエタノール燃料中のエタノールおよび水分分析)と CCQM-K100(バイオエタノール燃料中の銅およびナトリウム分析)に参加するとともに、上記バイオディーゼル燃料候補標準物質を試料とした CCQM-K123/P157(バイオディーゼル燃料中の元素分析)を NIST と共同主催し、それぞれの比較において高度な分析能力を国際的に示すことができた。

#### 1-(1)-④ 資源再利用システムの信頼性評価に資する計量標準

[中期計画]

・電気・電子機器の廃棄及び製品のリサイクル並びにこれらに係る規制・指令(REACH 規制、WEEE 指令等)に対応するため、資源再利用システムの信頼性を評価、分析する上で必要となる標準物質について、新たに2種類開発、整備し、供給を開始する。

[中期実績]

・RoHS 指令等の規制に対応する標準物質の特性値決定のための技術開発を進め(フタル酸エステル類分析用ポリプロピレン標準物質の分析法、プラスチック中のふっ素系有機汚染物質の分析法、ポリプロピレン中の全臭素の同位体希釈質量分析法と中性子放射化分析法、および鉛フリーはんだ標準物質の評価法)、2 種類 7 物質(2 物質の鉛フリーはんだ標準物質、有機ふっ素化合物分析用 ABS 樹脂標準物質、有機ふっ素化合物分析用生物組織標準物質、臭素分析用 PP 樹脂ペレット標準物質、臭化物イオン標準液、フタル酸エステル類分析用ポリ塩化ビニル標準物質)について開発した。複数の既存標準物質の安定性を評価し、うち 3 物質について有効期限の延長を行った。プラスチック中のふっ素系有機汚染物質分析に関する試験所間比較を企画・実施した。また、関連する底質中の臭素系難燃剤の国際比較(CCQM-K102)に参加した。

#### 1-(2) ライフ・イノベーションの実現を支える計量標準の整備

[中期目標]

ライフ・イノベーションの実現に向け、先進医療機器の開発に必要な計量標準を開発・整備、供給する。また、食品の安全性や生活環境の健全性確保に資するため、食品分析に係る計量標準、有害化学物質の計量標準を開発、整備、供給する。

[中期計画]

ライフ・イノベーションの推進に必要な計量標準の早急な開発、整備を行い、供給を開始する。具体的には、先進医療機器の開発、標準化に資する計量標準及び予防を重視する健康づくりに不可欠な臨床検査にかかわる計量標準の開発、整備を行い、供給を開始する。また、生活に直結する食品の安全性や生活環境の健全性確保に資するため、食品分析にかかわる計量標準、有害化学物質の分析にかかわる計量標準の開発、整備を行い、供給を開始する。



## 1-(2)-① 医療の信頼性確保に資する計量標準

### [中期計画]

・医療の信頼性確保のため、超音波診断装置、放射線治療機器等の先進医療機器の開発、利用に必要な超音波標準、放射線標準等について、新たに4種類の標準を開発、整備し、供給を開始する。また、医療現場における医療診断、臨床検査に不可欠な標準物質について、新たに4種類開発、整備し、供給を開始する。

### [中期実績]

・光干渉法によるハイドロホン感度校正では、小口径平面振動子を音源として新たに採用することで校正周波数範囲の上限を 20 MHz から 40 MHz にまで拡張し、標準供給を開始した。超音波パワー校正では、カロリメトリ法による 15 W～100 W の校正システムを新たに開発し、天秤法による 1 mW～15 W までの既存の校正システムとの整合性を確認し、標準供給を開始した。

・医療の信頼性確保のため、放射線治療機器等の先進医療機器の開発、利用に必要な放射線標準等について、標準を開発、整備し、供給を開始することが目標であり、以下の 4 種類の標準を開発、整備し、供給を開始した。マンモグラフィ X 線標準に関連して Mo/Rh、Rh/Rh、W/Rh、W/Ag、W/Al の線質について標準の開発し、現状では国内のすべてのマンモグラフィ X 線診断装置の線質に対応が可能となった。医療用リニアックからの高エネルギー X 線(6, 10, 15 MV)について、グラフィトカロリメータを用いて水吸収線量標準を開発した。治療用密封小線源標準については、薄膜対向型自由空気電離箱を用いて前立腺がん治療用のヨウ素 125 医療用密封小線源に対する線量標準を開発した。また、外挿電離箱を用いて、ルテニウム 106 医療用密封小線源からのベータ線水吸収線標準を開発した。

・医療現場における医療診断、臨床検査に不可欠な標準物質について、新たに 4 種類(臨床検査用低分子化合物標準、核酸標準物質、臨床検査用タンパク質・ペプチド標準、アミノ酸標準物質)の開発に取り組み、以下の供給を開始した。

- 1) 臨床検査用低分子化合物標準: プロゲステロン・テストステロン・トリオレイン
  - 2) 核酸標準物質: 定量分析用 DNA 水溶液・定量解析用 RNA 水溶液
  - 3) 臨床検査用タンパク質・ペプチド標準: C ペプチド・C 反応性蛋白溶液(新規値付け)・ヒト血清アルブミン
  - 4) アミノ酸標準物質: アラニン・ロイシン・アルギニン・リシン・塩酸塩・グリシン・アスパラギン酸・グルタミン酸・チロシン・ヒスチジン・トレオニン・セリン・メチオニン・システイン
- 開発した標準物質の維持管理を適切に行い、震災による供給停止や有効期限切れに伴うロット更新なども必要に応じて実施した。

## 1-(2)-② 食品の安全性確保に資する標準物質

### [中期計画]

・食品の安全性確保及び食品に係る各種法規制、国際規格(食品衛生法、薬事法、米国 FDA 規制、国際食品規格(コーデックス規格)等)に対応するため、基準検査項目の分析に必要な標準物質について、新たに4種類開発、整備し、供給を開始する。

### [中期実績]

・食品の安全性確保及び食品に係る各種法規制・国際規格に対応した、基準検査項目の分析に必要な標準物質について、4 種類 13 物質(栄養補助食品分析: 微量元素分析用のミルク粉末標準物質、食品分析: 微量元素分析用の 3 標準物質(茶葉、河川水 2nd ロット、大豆粉末)、カドミウム分析用とひ素化合物・微量元素分析用の玄米粉末標準物質 2 物質、ひ素化合物を追認の白米標準物質、食品中有機汚染物質: 残留農薬分析用の 4 標準物質(ネギ、キャベツ、リンゴ粉末、大豆)、化学形態分析用標準液: 2 物質(塩素酸及び臭素酸))を開発するとともに品質システムの技術部分を構築し、供給を開始した。既存認証標準物質の安定性を評価し、適切な維持、管理と供給を行った。新規及び既存の標準物質に関して、ピアレビューを受けた。技能試験(玄米中の微量元素分析 3 回、頭足類の微量元素分析、大豆、玄米、玄麦の中の残留農薬分析)を外務機関と連携して企画・実施した。国内企業と連携の技能試験提供体制を構築し次年度より実施予定となった。微量元素分析に関する技能試験をタイ及び香港の計量機関と連携実施し、更に継続実施に向けた協議を開始した。

### 1-(2)-③ 生活環境の健全性確保に資する計量標準

#### [中期計画]

・国民の生活環境の健全性を確保するため、大気汚染ガス、地球温暖化ガス、有害ガス等の分析、評価、測定等に必要となる標準物質について、新たに9種類開発、整備し、供給を開始する。

#### [中期実績]

・環境分析や品質管理においてトレーサビリティ源として用いられる標準物質を、4種類 28物質(高純度物質:しゅう酸ナトリウム、塩化ナトリウム、塩化アンモニウム、トリス(ヒドロキシメチル)アミノメタン及び炭酸カルシウム、元素標準液:ジルコニウム標準液、マグネシウム標準液、アンチモン標準液、ひ素標準液、マンガン標準液、リチウム標準液、ルビジウム標準液、セシウム標準液、セレン標準液、ほう素標準液、テルル標準液及び水銀標準液、非金属イオン標準液:塩化物イオン標準液、亜硝酸イオン標準液、硝酸イオン標準液、りん酸イオン標準液、シアン化物イオン、電気伝導率:2物質の電気伝導率標準液、栄養塩分析用海水:3物質の栄養塩分析用海水標準物質、その他:有機体炭素標準液)について開発した。

・新規標準物質として、有機ふっ素化合物標準物質(PFOA)、PCB分析用カネクロール標準液、VOC標準物質(1,4-ジオキサン及びMTBE)、定量NMR用標準物質(3,5-ビストリフルオロメチル安息香酸)、低濃度酸素標準ガスを、新規依頼試験としてNF<sub>3</sub>標準ガス及びホルムアルデヒド標準ガスの校正システムを開発し、中期計画の目標である5種類8物質の開発を達成した。6つの高純度認証標準物質(酸素、一酸化炭素、二酸化炭素、プロパン、メタン、エタノール、トルエン)のロット更新を行った。震災による施設の損傷等があったが、既存認証標準物質の安定性評価、維持管理、供給を継続して行い、必要に応じて有効期限の延長を行った。国際比較については、CCQM-K55b(アルドリンの純度測定)、CCQM-K55c(L-バリンの純度測定)、CCQM-K82(大気濃度レベルのメタン標準ガスの調製能力)、CCQM-K84(大気濃度レベルの一酸化炭素の測定能力)、CCQM-K101(低濃度酸素の測定能力)、APMP.QM-K111(窒素中プロパンの測定能力)に参加し、CCQM-P150(定量NMRの測定技術)を主催した。

### 1-(3) 産業の国際展開を支える計量標準の整備

#### [中期目標]

我が国産業の国際通商を円滑に行うために必要な計量標準を開発、整備、供給する。また、代表的な技術革新分野において、基盤的計量標準を開発、整備、供給する。

#### [中期計画]

我が国産業の国際通商を円滑に実施するために必要な国際規格、法規制に対応する計量標準の開発、整備を行い、供給を開始する。特に、移動体通信機器の電磁波規制にかかわる計量標準を重点的に整備する。また、ナノデバイス、ナノ材料やロボット分野において、我が国産業の国際競争力を支援し、国際的な市場展開を支える基盤的計量標準の開発、整備を行い、供給を開始する。

### 1-(3)-① 国際通商を支援する計量標準

#### [中期計画]

・我が国産業の国際通商を支援するため、電磁波干渉性及び耐性(EMC)規制等の国際規格、法規制に対応する計量標準について、新たに10種類開発、整備し、供給を開始する。

#### [中期実績]

・新たな国家計量標準の整備における産業の国際展開を支える計量標準として、高周波電力、電磁界強度、低周波磁界強度、高周波位相量、高周波減衰量、および高周波インピーダンスの各標準の開発整備を推進した。高周波電力標準では、国内の関係機関より110 GHz~170 GHz帯(Dバンド導波管)の法規制に対応した標準供給の強い要望があり、75 GHz~110 GHz帯の計画を先送りし、優先して供給を開始するとともに、2.4mm同軸への拡張技術を開発し標準供給を開始した。電磁界強度標準(ホーン、GTEMセル)では、震災後の電波暗室の復旧に伴う電波遮蔽の基本性能評価および校正システムの精度評価を完了し、標準供給を開始した。低周波磁界強度標準では、50 Hzおよび60 Hzにおける標準供給を開始するとともに、強度レベルの校正範囲拡張を行った。高周波位相量(同軸)標準について従来の同軸減衰量標準の校正システムを拡張し新たに標準供給を開始した。高周波減衰量では、Vバンド導波管(50 GHz~75 GHz)およびWバンド

導波管(75 GHz~110 GHz)の校正システムを独自技術により開発し、標準供給を開始した。高周波インピーダンスでは、同軸線路(Type-N50、2.92mmミリ波同軸)および導波管線路(Vバンド、Wバンド、Dバンド)の各標準器を新たに開発し、標準供給を開始した。

### 1-(3)-② ナノデバイス、ナノ材料の開発と利用に資する計量標準

#### [中期計画]

・ナノデバイス、ナノ材料の技術開発と利用に資する計量標準として、ナノスケールの半導体デバイス製造に不可欠な線幅標準、ナノ粒子の機能及び特性評価やナノ粒子生産現場の環境モニタリングのための粒径標準、ナノ機能材料の分析、評価に必要な標準物質等について、新たに10種類の標準を開発、整備し、供給を開始する。

#### [中期実績]

・パターン線幅では、原子間カプローブを傾斜し、プローブ先端を垂直側壁に接触させたまま縦横に走査する手法により、線幅を三次元形状として解析できる校正技術を確認し、標準供給を開始した。AFM方式粗さでは、AFMを用いた表面粗さ測定(JIS R1683)に整合した手順の検討を行い、測長AFMを適用した場合の不確かさを見積もるとともに、品質システムを整備し、標準供給を開始した。角度測定を利用した表面形状計測技術の開発では、最適化及び不確かさの評価を行い、平面度の校正に対して5nmの不確かさを達成し、標準供給を開始した。X線CTによる寸法計測技術の開発では経産省委託事業の推進と並行してJIS B7442制定を達成し、倍率誤差の解析および補正技術の検討を行ない10μm以下の測定誤差となる効果を実験的に検証した。さらに、ISO国際標準化におけるプロジェクトリーダ指名を受けて国際標準の開発を着実に推進した。また、計測用X線CTによる内外計測技術の成果普及を着実に推進するための産総研コンソーシアムを立ち上げ、活動を開始した。関連するNMIJ計測クラブを1件立ち上げ、運営中の2件とともに産業界に向けた情報発信を行った。

・Ar中微量水分の一次標準を世界で初めて確立した。プロトタイプCRDS分光システムを開発し、10ppb以下の領域でのガス中微量水分の高感度測定が可能となった。微量水分の国際比較に参加し、NMIJの微量水分標準が、発生可能な微量水分量の最小値および不確かさの観点から、世界トップレベルにあることを確認した。微量水分の測定において、実際の計測現場で最も大きな不確かさ要因となる、水分濃度変化に対する微量水分計の応答を評価する試験サービスを開始した。従来のNMIJの依頼試験では、安定的な状態における計測器の性能評価(指示の校正)を取り扱っていたが、今回依頼試験としては初めてとなる、動的な状況における計測器の性能試験サービスを開始した。簡易型拡散管方式微量水分発生装置の制御・測定プログラムを整備し、複数台の微量水分計の同時試験が可能となった。

・新規標準として粒径20nm~300nmにおける粒径分布幅標準を確立し、粒径分布標準のうち第3期開発分を計画通り完了した。また、粒径/粒子質量標準に用いる計数ミリカン校正装置の自動制御を実現した。これによって、高い精度を維持したまま粒径/粒子質量測定の作業効率を高めることが可能となった。さらに、これまで定量化できなかったミリカセル電極対の仕事関数差がもたらす粒子質量測定への偏りを正確に評価することに成功し、粒子質量測定のさらなる高精度化を実現した。また、ナノ粒子の粒径測定国際比較に参加し、粒径10nm~300nmにおいて産総研の高い粒径測定精度を証明するとともに、電気移動度分析法および動的光散乱法による粒径測定の手順書作成に貢献した。

・ナノ粒子の機能及び特性評価やナノ粒子生産現場の環境モニタリングのための粒径標準、ナノ機能材料の分析、評価に必要な標準物質および依頼試験による標準供給に向けた開発を行い、4種類(ナノ薄膜構造評価用、シリコン系半導体組成評価用、ナノ空孔評価用標準、ナノ粒子径評価用)、15物質(それぞれ3物質、2物質、2物質、8物質)の標準物質を開発した。ナノ粒子径評価標準物質では、ナノ材料の安全性に対する懸念から欧州を中心に規制が始まりつつある状況を踏まえて、ナノ粒子計測の基盤をより強固にするために当初計画を超える標準物質を開発した。更にナノ薄膜構造評価においては、多様な物質の組合せに対応するために、膜厚評価の依頼試験による標準供給を開始した。

### 1-(3)-③ ロボットシステム利用の安全性確保に資する計量標準

#### [中期計画]

・ロボットシステム利用における安全性確保に資するため、機能安全設計の信頼性向上に必要な力学標準、

振動標準等について、新たに3種類の標準を開発、整備し、供給を開始する。

[中期実績]

・ロボットに使用される各種モータの出力トルクを試験・検査するためのモータ試験装置について、試験の対象となる各種モータの製造者やモータ試験装置の製造者への聞き取りによる現状調査を行い、モータの出力トルクの評価試験における計測の信頼性確保の重要度等について確認した。更に、0.1 N・m～100 N・m程度のトルク範囲が主な目標になることおよび周波数帯域の上限として10 Hz程度までの応答を評価する必要があることを明らかにした。そして、モータ試験装置等に内蔵されるトルクメータ3台以上を置換して相互に比較することによって3台それぞれの動的応答特性を評価する「複数置換評価法」を新たに考案し、技術指針として取りまとめ公表した。

・ロボットシステム利用における安全性確保に資するため、機能安全設計の信頼性向上に必要な振動標準の開発を行い、新たに衝撃加速度、角振動標準を開発・整備し、供給を開始した。衝撃加速度標準については、衝撃加速度の供給範囲をピーク加速度で50 m/s<sup>2</sup>～10000 m/s<sup>2</sup>に拡張して電圧感度の供給を行うとともに、新たに加速度ピックアップを対象とした電荷感度校正についても電圧感度と同じ供給範囲での標準供給を開始した。角振動標準については校正装置を開発、5 deg/s～300 deg/sの供給範囲で角速度の標準供給を開始した。

## 2. 国家計量標準の高度化

[中期目標]

我が国のイノベーション基盤を強化するため、国家計量標準を確実に維持、供給するとともにその高度化、合理化、校正事業者の認定審査の支援、計量トレーサビリティ体系の高度化と合理化を行う。

[中期計画]

国家計量標準を確実に維持、供給するために必要な国際比較への参加、品質システムの構築を行う。同時に、ニーズに即した範囲の拡大や不確かさ低減等の高度化を、計量標準に関する整備計画に即して行う。また、産総研の校正技術の校正事業者への技術移転を進め、校正事業者が供給する校正範囲の拡張を進めると同時に、校正事業者の校正能力を確保するための認定審査を技術面から支援する。さらに、産業現場まで計量トレーサビリティを普及する校正技術の開発や、トレーサビリティ体系の合理化を行うことで、校正コストの低減や利便性の向上を実現する。国家計量標準の供給体制について選択と集中や合理化の視点から見直しを行い、計量標準政策への提言としてまとめる。計量標準に関する整備計画の改訂に必要な調査と分析を行い、策定した整備計画についての情報発信を行う。

### 2-(1) 国家計量標準の維持、供給

[中期目標]

国家計量標準を維持管理し、校正サービス、標準物質等の供給、品質システムの運用を行う。

[中期計画]

国家計量標準を維持管理し、JCSS(計量法に基づく校正事業者登録制度)や依頼試験に基づく校正サービス、標準物質等の供給を行う。また、ISO/IEC17025等校正業務の管理に関する国際規格に適合する品質システムを構築、運用し、品質システムに則した標準供給を行う。国際相互承認に係る技術能力(Calibration and Measurement Capability: CMC)の登録の維持、追加申請(国際基準への適合性確保)に必要なピアレビューを実施し、国際比較(基幹比較、補完比較、多国間比較、二国間比較等)へ参加する。

#### 2-(1)-① 国家計量標準の維持、供給

[中期計画]

・国家計量標準を維持管理し、JCSS(計量法に基づく校正事業者登録制度)や依頼試験に基づく校正サービス、標準物質等の供給を行う。また、ISO/IEC17025等校正業務の管理に関する国際規格に適合する品質システムを構築、運用し、品質システムに則した標準供給を行う。国際相互承認に係る技術能力(Calibration and Measurement Capability: CMC)の登録の維持、追加申請(国際基準への適合性確

保)に必要となるピアレビューを実施し、国際比較(基幹比較、補完比較、多国間比較、二国間比較等)へ参加する。

[中期実績]

・ISO/IEC 17025 に適合する品質管理システムのもと、国家計量標準を維持し、校正サービスを実施するとともに、ISO/IEC 17025 および ISO Guide 34 に適合した標準物質の供給を行った。既存の国際相互承認に係る CMC(校正測定能力)登録に加え、追加申請を行うため、長さ分野、電磁気分野、測光・放射計測分野においてピアレビューおよび品質管理システムに関する認定審査を受けた。また、新たに 17 件の必要な国際比較に参加した。

## 2-(2) 国家計量標準の高度化、合理化

[中期目標]

より高度な技術ニーズ及び社会ニーズに対応するため、特に省エネ技術の推進、産業現場計測器の信頼性確保及び中小企業の技術開発力の向上を支援する計量標準について、その高度化、合理化を行う。

[中期計画]

より高度な技術ニーズや社会ニーズに対応するため、供給を開始した計量標準の高度化、合理化を進める。特に、省エネルギー技術の推進、産業現場計測器の信頼性確保及び中小企業の技術開発力の向上を支援する計量標準について、供給範囲の拡張、不確かさの低減等の高度化を行うとともに技術移転等による供給体系の合理化を行う。

### 2-(2)-① 省エネルギー技術の利用を支援する計量標準

[中期計画]

・省エネルギー機器の開発と利用の推進に不可欠な計量標準として、12種類の標準について、供給範囲の拡張、技術移転等を行う。

[中期実績]

・高性能小型モータの開発に必要な高精度小容量トルクメータ(0.1 N・m~10 N・m)を校正するために、過負荷防止装置を実用化し、小容量トルクメータ校正装置を開発して、平成 24 年度にその校正サービスを開始した。平成 25 年度には更に小容量の校正を可能にするために、0.01 N・m までの微小トルクを発生できる負荷機構部を開発した。省エネルギー技術の利用を支援する計量標準として分圧標準を確立するために、平成 22 年度にはガス導入素子「標準コンダクタンスエレメント(SCE)」を開発して、分圧真空計の校正サービスを開始し、平成 23 年度には研究開発品としての SCE の頒布とその校正サービスを開始した。平成 26 年度には SCE の校正技術を技術移転し、民間企業から校正した SCE を頒布できるようにした。更に SCE を用いた校正技術を有機 EL 用水蒸気バリア性評価に応用することで、この評価装置を製品化し、分圧標準の応用範囲を広げた。リーク標準については冷凍空調機器の漏れ試験をより厳格に実施するために平成 24 年度に校正範囲を拡大し、平成 26 年度にはユーザーニーズを踏まえて標準リークを校正できるガス種を増やした。

・交流シャント標準について、周波数範囲の拡張、電流範囲の拡張、抵抗範囲の拡張に取り組み、標準供給を開始した。電流範囲および抵抗範囲の拡張については、主にバッファ回路と巻線用電流自動補償回路の高度化およびバイナリ型電流比較器および変流器の適用とその精密評価により実現した。周波数範囲の拡張については、直角移相回路の高度化と装置全体の回路構成の変更による浮遊容量に起因する漏れ電流の大幅な低減、および関連する上位標準の周波数特性を精密評価することで実現した。高調波電力については、国内のパワーアナライザの校正に必要な高調波電力発生器の標準となる高調波電圧電流標準を、基本波 100 V/5 A、第 2~50 次高調波 100 V/3 A の校正範囲で構築した。その後、100 次高調波までの拡張に向けて、誘導分圧器、シャント、サンプリング計測について周波数特性を検討・評価し、システム全体の不確かさ評価を行った。

・1)外部共振器型波長可変レーザの開発と安定性の評価、パワーメータ光吸収体反射率の入射波長一様性の理論的・実験的検証等を通じて、1310 nm 帯・1550 nm 帯光ファイバパワーメータ応答度校正・校正係数波長依存性試験方法を確立した。併せて、850 nm 帯光ファイバパワーメータに対するパワーメータの応答度校正・校正係数波長依存性試験方法を確立した。2)積分球からの均一放射照度場を用いた評価や構築した二次元走査装置による評価を通じて二次元検出器の基礎特性評価を行い、1064 nm での二次元検出器応答度校

正技術を確立した。3)校正装置の光学アライメントを精査し放射照度場を最適化すると共に、トラップ型検出器の最適化設計、精密アパーチャの作成・評価を完了させ、照度応答度標準の不確かさ低減に必要な校正技術を確立した。4)分光拡散反射率校正装置の受光光学系を赤外測定用に改良すると共に、特性評価を実施し、赤外波長域の分光拡散反射率標準の校正技術を確立した。

・熱物性標準に関しては依頼試験として熱流密度、熱拡散率、比熱容量について供給開始および範囲拡張を行った。このうち、熱流密度に関する依頼試験は、住宅壁面の断熱性能評価などに使われる熱流密度センサーの校正を行うものであり、国家標準機関としては世界初の供給項目となった。また、標準物質に関しては、NMIJ 認証標準物質として4種(熱膨張率、熱拡散率、比熱容量および薄膜熱物性)を開発し、供給を開始した。このうち、薄膜熱物性標準物質(CRM5808-a 熱拡散率測定用モリブデン薄膜(400))は電子デバイスにおける熱特性などの評価を目的として普及しつつある薄膜熱物性測定装置の信頼性の確保に不可欠な標準物質である。第3期中に整備された熱物性標準に関する標準整備項目(新規項目および範囲拡張項目)は8項目を達成した。

## 2-(2)-② 産業現場計測器の信頼性確保に資する計量標準

### [中期計画]

・産業現場計測器の信頼性を確保するため、品質管理、認証、認定等に必要となる計量標準として、50種類の標準について供給範囲の拡張、技術移転等を行う。

### [中期実績]

・固体屈折率では、ランプ波長による校正技術の開発を行い、水銀ランプ e 線波長に対して 10ppm の校正不確かさを実現するとともに、品質システムを整備し、標準供給を開始した。二次元グリッドでは、校正技術に必要な X, Y,  $\theta$  軸の干渉測長光学系を設計、設置するとともに、校正に使用する画像測定機の安定性、再現性に影響を及ぼす要素について実験的検証を行い、装置のアライメント条件等を明らかにし、0.3  $\mu\text{m}$  の校正不確かさを達成した。新たに品質システムを構築し、標準供給を開始した。小径内径及び真円度測定機用倍率校正器では、超高精度三次元測定器を用いた校正技術の開発に取り組むとともに、品質システムを整備し、標準供給を開始した。球面度では、2 球面法を用いた校正法により 4.2 nm の不確かさを達成し、標準供給を開始した。

・1)時間周波数遠隔校正の普及に向け、技術指針やガイドラインを作成。アジア地域への普及を目指し、APMP において周波数遠隔校正関連の 3 件のガイドラインを完成させ、アジア地域において活用されることになった。2)光格子時計の国際間遠隔比較が可能な電波を用いる各種方法を検討した。GPS 衛星キャリアフェーズ法を用いて、韓国の機関(KRISS)と周波数比較を実施し、16 桁の精度で比較ができた。また VLBI 周波数比較法については、産総研に受信アンテナ関連施設を建設し、産総研～NICT 間で、水素メーザを用いた比較実験を行い、16 桁オーダの性能を確認した。3)最も超高精度化が期待される光ファイバに関しては、位相補償システムの検討を行い室内実験の結果 17 桁の比較精度を得た。さらに光ファイバ比較システムの位相制御系の改良による振動対策と干渉系の恒温化の実施により関東圏にある複数の光格子時計の 18 桁精度での比較可能なプロトタイプを完成させた。4)ストップウォッチ等の時間の校正の要望に対し、JCSS において機種を追加し、迅速に認定可能な状態にした。波長計の校正を開始した。発振器の位相雑音校正装置、位相雑音測定器の校正装置を開発した。

・ネジ等の締め付けトルクの適正管理に必要な小容量(0.1 N $\cdot$ m $\sim$ 10 N $\cdot$ m)の参照用トルクレンチを校正するために、負荷を加える部分の摩擦を低減する機構や過負荷を防止する機構を開発し、小容量トルクの校正サービスを開始した。圧力標準と中真空標準とをつなぐ範囲の気体絶対圧力標準を確立するために、比較校正システムを開発し、平成 22 年度に 10 Pa $\sim$ 10 kPa の範囲の依頼試験を開始した。平成 26 年度には改良によって校正範囲を 1 Pa $\sim$ 10 kPa に拡大した。その間、圧力標準と中真空標準との整合性を確認して、国際比較に参加することで信頼性と国際整合性を確保するとともに、不確かさの低減を図るために周囲圧力制御型の圧力天びんを用いた気体絶対圧力校正システムの開発を進めた。生産現場計測器の信頼性確保に資する計量標準として、平成 22 年度までに中真空標準と高真空標準を整備し、平成 23 年度には 0.1 Pa $\sim$ 130 Pa、平成 26 年度には 1 nPa までの範囲で校正サービスを開始した。そのために世界初となる 1 nPa の国際比較を実施し、国際標準化活動への協力や共同研究などを通して校正技術の普及に貢献した。

・石油中流量において、スピンドル油を用いて、動粘度約 20 mm<sup>2</sup>/s の高粘度での流量標準を流量範囲 0.1 m<sup>3</sup>/h $\sim$ 15 m<sup>3</sup>/h で実現し、依頼試験による標準供給を開始した。

・震災により、実験装置及び施設が影響を受けたが、各装置の性能検証を行い、必要とされている校正サービスを再開した。新規標準立上げに関しては、音響標準では音響校正器の校正周波数を 31.5 Hz から 16 kHz の範囲へと拡張して供給を開始した。また 20 Hz～20 kHz での WS3 マイクロホンの自由音場感度及び 100 Hz～10 kHz の 1/3 オクターブ系列の周波数点における基準音源の音響パワーレベルの供給を開始した。硬さ標準について微小硬さの標準供給を開始、振動加速度標準について中周波振動加速度(20 Hz～5 kHz)の位相遅れについて標準供給を開始した。また硬さ標準について、ロックウェル B スケール硬さの不確かさ評価のためのラウンドロビン試験を行い、圧子形状の直接検証について分解能の向上を行った。超音波標準について、相互校正法による 100 kHz～1 MHz のハイドロホン感度校正システムを開発し、供給を開始した。

・国家計量標準の高度化における生産現場計測器の信頼性確保に資する計量標準として、高周波インピーダンスおよびアンテナ係数の各標準量の開発整備を推進した。高周波インピーダンス標準では、7mm 同軸、Type-N50、3.5mm 同軸および 2.92mm 同軸について、同軸線路の寸法評価により求められる機械 S パラメータ評価のための校正システムを新たに構築し、標準供給を開始するとともに、Type-N75 および 3.5mm 同軸の低周波領域の独自標準器を開発し、標準供給を開始した。アンテナ係数標準では、特に EMC 評価等において要望の強い超広帯域アンテナである、1 GHz～6 GHz 帯ダブルリジッドガイドホーンアンテナおよび 30 MHz～1 GHz 帯ボウタイアンテナとログペリオディックアンテナの複合アンテナの校正システムを開発し、標準供給を開始した。

・1)波長可変レーザー開発等を通じ波長 405 nm 帯・650 nm 帯・780 nm 帯レーザーパワー校正技術を確立し、相関二光子発生光源の開発等を通じ波長 1550 nm での単一光子検出効率校正技術を確立した。2)YAG パルスレーザー(基本波から第 4 高調波まで)の平均パワー・エネルギー校正技術、高出力レーザーパワー校正範囲拡張技術(10.6  $\mu$ m は 100 W まで、1.1  $\mu$ m は 1 kW まで)を確立した。3)波長可変レーザー光源開発や理論的考察等を行い、光ファイバ系 850 nm 帯・1310 nm 帯・1550 nm 帯及びビーム系 765 nm 帯・845 nm 帯・1020 nm 帯の応答非直線性の校正・波長依存性試験技術を確立した。4)校正装置のスリット関数やスループット評価等を通じ分光放射照度(紫外)校正を拡張、放射束校正技術を確立した。5)比較測定系の最適化等を通じ紫外域での分光拡散反射率標準を確立した。分光拡散反射率(可視域)の幾何条件を拡張し、BRDF 校正技術を確立した。6)分光応答度の校正波長域を赤外域に拡張し、光ホモジナイザ評価・改良による光学系ビーム均整度改善等により分光応答度(紫外,可視,近赤外)校正を拡張、分光放射照度応答度校正技術を確立した。

・1)産業現場計測器の信頼性を確保するため、品質管理、認証、認定等に必要となる計量標準について供給範囲の拡張、技術移転等を行うことが目標であり、以下の 7 種類の標準の開発・拡張を行った。放射線標準に関して、ガンマ線線量当量標準、中硬 X 線線量当量標準、低線量率ガンマ線の線量標準を立ち上げた。放射能標準に関して、環境レベル放射能標準、放射性ガス及び放射性ガスモニタの標準を立ち上げた。中性子標準に関して、カリホルニウム線源を用いた連続スペクトル中性子フルエンス標準(重水減速)、45 MeV 高エネルギー中性子フルエンス標準を立ち上げた。2)震災の復興支援のため、福島県における表面汚染検査の立ち上げおよび検査を支援するとともに、各種講習会の開催、土壌などに含まれる放射能分析などを行った。さらに、放射性セシウムを含む玄米の認証標準物質を開発するために、試料の分析を行うとともに、国内の試験分析機関の技能向上を目指して、放射能核種分析の技能試験を複数回実施した。

・1)震災で多くの標準用設備が損壊したが、特に被害の大きかった低温度領域のアルゴン点(JCSS 校正)、カプセル型白金抵抗温度計 4 K～273.16 K(依頼試験)、低温用抵抗温度計 0.65 K～25 K(依頼試験)などを含むすべての設備を復旧させ、温度標準の供給を再開した。2)50 mK までの極低温抵抗温度計の標準供給を開始すると共に、平面黒体炉の標準を整備し、2色放射温度計の工業標準原案を作成した。また、0.65 K から 24 K までの校正対象を白金コバルト抵抗温度計に拡大、Co-C 共晶点(1324 °C)における熱電対の校正対象を R 熱電対に拡大、160 °C～500 °C の範囲の放射温度標準を 10  $\mu$  m 帯に波長展開、放射温度計の校正範囲を 2800 °C までに拡大した。以上の 7 種類の標準の整備に加え、世界に先駆けて、産総研の技術である WC-C 包晶点(2748 °C)による黒体炉の標準供給を開始した。3)放射温度計の絶対校正技術を確立し、SI トレサブルな銅の凝固点の熱力学温度測定を実現した。

・気中および液中粒子数濃度標準の高度化に取り組み、濃度と粒径範囲の拡張に成功した。気中粒子数濃度標準については、まずファラデーカップ・エアロゾルエレクトロメータに基づく従来型標準に対し、第 2 期に実現した濃度範囲(1000 個/cm<sup>3</sup>～10000 個/cm<sup>3</sup>)を 1 個/cm<sup>3</sup>～100000 個/cm<sup>3</sup> へと大幅に拡張した。さらに、新たに開発したインクジェット技術に基づく発生器型標準により、粒径範囲 0.5  $\mu$ m～10  $\mu$ m、粒子計

数頻度 10 /秒～100 /秒(流量 0.3 L/min の計測器の場合、粒子数濃度 2 個/cm<sup>3</sup>～20 個/cm<sup>3</sup>に相当)において相対拡張不確かさ約 0.5 %の高精度校正技術を確立した。これらによって、気中粒子数濃度測定の主たる利用分野であるナノ粒子排出規制とクリーンルーム清浄度管理に対し、特に重要な濃度・粒径範囲を広く網羅することが可能となった。液中粒子数濃度標準については、第 2 期に実現した粒径範囲 10 μm～20 μm の下限を 2 μm へと拡張することに成功した。この粒径範囲拡張によって、液中粒子数濃度標準を血球計数機器の校正に利用することが可能となった。

## 2-(2)-③ 中小企業の技術開発力向上に資する計量標準

### [中期計画]

・中小企業の技術開発力の向上に不可欠な計量標準として、9種類の標準について、供給範囲の拡張、技術移転等を行う。

### [中期実績]

・電圧、抵抗の二次標準器の開発に成功し共同研究先からの販売を開始した。販売開始した機器には産総研「研究成果活用製品マーク」を貼付している(一部使用申請中)。電圧については当初目標の 7.2V 発生に加え、安定な分圧器を内蔵することで 10V 発生も達成している(前倒し達成)。さらに、ジョセフソン電圧標準素子の研究開発品頒布も開始し、産業界における、よりイントリンシクな電圧トレーサビリティの整備にも貢献した。抵抗器に関しては、1 Ω、10 Ω、25 Ω、100 Ω の開発および共同研究先からの発売開始、1k Ω 抵抗器の開発終了、およびこれらの範囲の汎用器(廉価版)販売開始への目処がついた。交流電圧標準に関して、サーマルコンバータの熱伝導解析により 4 Hz へ周波数範囲を拡大し、振動計測で利用される交流電圧計の校正サービスを開始した。0.1 Hz 以下への標準整備を念頭に薄膜型サーマルコンバータの低周波動作範囲の拡大とプログラマブルジョセフソン電圧標準の交流応用を進め、論文発表を行った。

・国家計量標準の高度化において中小企業の技術開発力向上に資する計量標準として、高周波減衰量、微小アンテナ係数およびテラヘルツ帯電力について各標準量の開発整備を推進した。高周波減衰量標準では、同軸減衰量校正システムにおいて 40 GHz～50 GHz 帯への周波数範囲の拡張および 110 dB への減衰量レベルの拡張のための高周波受信システムの改良を行い、標準供給を開始した。微小アンテナ係数標準では、9 kHz～30 MHz 帯のループアンテナに対して校正周波数点数を拡張するため、LF 伝送測定システムの改良と拡張に伴う不確かさの詳細な再評価を行い、標準供給を開始した。テラヘルツ帯電力標準では、超高感度なテラヘルツ帯電力センサのプロトタイプを完成し、不確かさの主要因について評価を完了するとともに、テラヘルツ帯時間領域分光測定方式の精度評価のための、テラヘルツ帯線形性評価デバイスを独自技術により開発した。

## 2-(3) 計量標準政策に関する調査と技術支援

### [中期目標]

計量トレーサビリティ体系の設計、維持運用について調査を行い、政府の知的基盤の整備に関する技術支援を行う。

### [中期計画]

我が国の計量関係団体、機関への参画や、計量標準総合センター(NMIJ)計測クラブの運営を通じて、計量トレーサビリティ体系に関するニーズ調査や分析を行う。その成果に基づき、政府の計量トレーサビリティ施策に対する技術的支援を、知的基盤整備特別委員会や計量行政審議会等を通じて行う。

## 2-(3)-① 計量標準政策に関する調査と技術支援

### [中期計画]

・我が国の計量関係団体、機関への参画や、計量標準総合センター(NMIJ)計測クラブの運営を通じて、計量トレーサビリティ体系に関するニーズ調査や分析を行う。その成果に基づき、政府の計量トレーサビリティ施策に対する技術的支援を、知的基盤整備特別委員会や計量行政審議会等を通じて行う。

### [中期実績]

・計測標準フォーラム参加団体と連携した講演会の企画、計測クラブの運営を継続的に実施することを通じて、



関係団体と計量標準、標準物質に関するニーズ等の情報交換を行った。また、これらの団体とのチャンネルを活用し、経済産業省が取りまとめた平成 24 年 8 月の知的基盤整備特別委員会中間報告の作成への協力や、その後に経済産業省が策定した具体的な方策のためのニーズ調査に協力し、政府の知的基盤施策を支援した。

## 2-(4) 計量標準供給制度への技術支援

### [中期目標]

JCSS（計量法に基づく校正事業者登録制度）を主体とする計量標準供給制度の運用に関する技術支援を行う。

### [中期計画]

JCSS(計量法に基づく校正事業者登録制度)等において、事業者認定のための技術審査、技能試験の実施、技術的な指針やガイド等の審査基準文書作成を通して計量標準供給制度の運用に関する技術支援を行い、JCSS 等の普及及び拡大に貢献する。

### 2-(4)-① 計量標準供給制度への技術支援

#### [中期計画]

・JCSS(計量法に基づく校正事業者登録制度)等において、事業者認定のための技術審査、技能試験の実施、技術的な指針やガイド等の審査基準文書作成を通して計量標準供給制度の運用に関する技術支援を行い、JCSS 等の普及及び拡大に貢献する。

#### [中期実績]

・計量トレーサビリティの普及、拡大のために、JCSS(計量法に基づく校正事業者登録制度)等において、認定機関が実施する事業者認定において、73 件の技術審査への協力、6 件の技能試験参照値の提供、14 件の技術指針等の作成への協力を実施した。

## 2-(5) 計量トレーサビリティ体系の高度化、合理化

### [中期目標]

利用者が信頼性、コスト、迅速性及び効率性の観点から最適な手段により計量トレーサビリティを確保できるように、技術開発の実施と運用方法の拡充を行い、計量トレーサビリティ体系の高度化と合理化を図る。

### [中期計画]

産業現場やサービス産業への計量トレーサビリティの普及を図るため、校正のコスト低減や効率性向上に必要な技術を自ら開発又は業界との連携の下で開発を行うとともに、開発した技術を適用した校正等を実施する。新たな供給方法として、産業現場で直接校正可能な技術等の開発を行い、トレーサビリティ体系の合理化を図る。

### 2-(5)-① 計量トレーサビリティ体系の高度化、合理化

#### [中期計画]

・産業現場やサービス産業への計量トレーサビリティの普及を図るため、校正のコスト低減や効率性向上に必要な技術を自ら開発又は業界との連携の下で開発を行うとともに、開発した技術を適用した校正等を実施する。新たな供給方法として、産業現場で直接校正可能な技術等の開発を行い、トレーサビリティ体系の合理化を図る。

#### [中期実績]

・トレーサビリティ体系の合理化を図るべく、試験機関で用いる標準物質を直接校正する技術の開発を目指し、特に核磁気共鳴分光法による定量分析(定量 NMR)に着目して高精度化に挑んだ。定量 NMR における試料調製、測定及び解析におけるバイアス要因及び不確かさを低減するとともに、NMR 信号の標準物質を開発することにより、高純度有機標準物質の校正技術として世界に先駆けて実用化に成功した。定量 NMR を中核技術として校正方法を開発し、2011 年からの 4 年間で 180 種類の高純度有機標準物質の純度校正サ

ービスを実施し、特に残留農薬試験に用いる 100 種類を越える実用標準物質を階層性を設けずに直接校正する合理的な計量トレーサビリティ体系の実現によって食品安全に貢献した。また、定量 NMR は校正対象物質と異なる物質を基準として様々な有機化合物の物質量を評価できるという従来技術にはない利点から、食品添加物公定書や日本薬局方などの公定法に採用された。さらに、2014 年から定量 NMR の標準化に係る共同研究を国際度量衡局 (BIPM) と締結し、国際純正・応用化学連合 (IUPAC) における純度校正プロトコル作成も進めた。

### 3. 法定計量業務の実施と関連する工業標準化の推進

#### [中期目標]

法定計量業務を適正に実施し、計量行政を支援するとともに、経済のグローバル化に対応した計量器の適合性評価システムの整備、普及を促進する。

#### [中期計画]

法定計量業務について、品質管理の下に適正な試験検査、承認業務を実施する。特定計量器の利用状況の調査等を通して計量行政を支援するとともに、計量器の信頼性を検証するための適合性評価システムの整備・普及を促進する。

#### 3-(1) 法定計量業務の実施と法定計量政策の支援

#### [中期目標]

特定計量器に関する試験検査業務を国際標準の品質管理の下、適正に実施し、特定計量器の製造技術及び利用技術の調査などを通じ計量行政への支援を行う。

#### [中期計画]

特定計量器の基準器検査、型式承認試験、型式承認審査等の技術的な試験検査業務を国際標準に基づく品質管理の下に適正に実施する。さらに特定計量器の技術規格整備や法定計量体系の高度化、合理化、国際化等の政策課題に関して、利用者、製造事業者及び民間認証機関への調査を通して、計量行政への支援を行う。

#### 3-(1)-① 法定計量業務の実施と法定計量政策の支援

#### [中期計画]

・特定計量器の基準器検査、型式承認試験、型式承認審査等の技術的な試験検査業務を国際標準に基づく品質管理の下に適正に実施する。さらに特定計量器の技術規格整備や法定計量体系の高度化、合理化、国際化等の政策課題に関して、利用者、製造事業者及び民間認証機関への調査を通して、計量行政への支援を行う。

#### [中期実績]

・1) 基準器検査、型式承認等基準適合性評価に適応した品質マニュアルの整備を速やかに行うとともに同マニュアルに基づく法定計量業務を着実に実施した。2) 計量行政会議に出席し、計量法上の技術的解釈を行うとともに、社会変化に順応した技術基準の検討、策定及び提案を行い、経済産業省に適切な法定計量業務の実施を支援した。3) 地方行政機関を対象としたセミナー及び研修、事業者を対象とした技術相談窓口及び法定計量クラブを国内各地で開催し、計量行政に必要な知識・技術を提供した。4) 32 機種の特定制量器の JIS 規格を検則及び規則へ引用するための作業を支援した。5) 法定計量業務の実施に必要な法体系の運用に対し、経済産業省を支援した。

#### 3-(2) 適合性評価技術の開発と工業標準化への取組

#### [中期目標]

特定計量器についての新たな適合性評価技術を開発、整備する。また、一般計測及び分析器についても評価技術を開発し、測定手続の基準、試験規格の確立と普及を図る。

#### [中期計画]

特定計量器について、技術基準の国際整合化を図り、その技術基準に基づき製造される特定計量器の新たな適合性評価技術の開発、整備を行う。また、一般計測、分析器及びそれが生み出す測定結果の信頼性を評価する技術の開発を行い、評価基準の作成、普及を図る。さらに、一般計測器、分析器の内蔵ソフトウェア、計測器モジュールの評価技術基準を作成し、普及を図る。

### 3-(2)-① 適合性評価技術の開発と工業標準化への取組

[中期計画]

・特定計量器について、技術基準の国際整合化を図り、その技術基準に基づき製造される特定計量器の新たな適合性評価技術の開発、整備を行う。また、一般計測、分析器及びそれが生み出す測定結果の信頼性を評価する技術の開発を行い、評価基準の作成、普及を図る。さらに、一般計測器、分析器の内蔵ソフトウェア、計測器モジュールの評価技術基準を作成し、普及を図る。

[中期実績]

・1)OIML MAAに基づくOIML 適合証明書(R76及びR60)の発行及び管理を適切に行った。2)水道メーターのOIML基本証明書発行のため試験設備及び品質マニュアルの整備を行うとともに発行及び管理を適切に行った。3)国際法定計量調査研究委員会の各種の作業委員会及び分科会に専門家を委員として積極的に参加し、OIML等の技術文書の検討を行い、国内技術基準との調整を図った。4)OIML TC6、TC8、TC9及びTC17を含む各種のTC及びOIML等の国際機関が主催する各種の技術セミナーへ積極的に参加し、国際規格との調整及びJIS規格、国内法定計量システムの整備に貢献した。5)37機種の計量器のJIS原案作成委員会に委員長(又は委員)として原案の作成を支援した。

## 4. 国際計量標準への貢献

[中期目標]

計量標準、法定計量に関連する国際活動に主導的に参画し、我が国の技術を反映した計量システムを諸外国に積極的に普及させるとともに、メートル条約と法定計量機関を設立する条約のメンバー国と協調して国際計量標準への寄与に努める。また、先進的な計量トレーサビリティ体系の構築に努める。

[中期計画]

計量にかかわる国内の技術動向の調査に基づいて、計量標準、法定計量に関連する国際活動に主導的に参画する。特に我が国の技術を反映した計量システムや先進的な計量標準を諸外国に積極的に普及させるとともに、メートル条約と法定計量機関を設立する条約の下、メンバー国と協調して国際計量標準への寄与に努める。また、二国間MOU(技術協力覚書)の締結、維持により、製品の認証に必要となる計量標準の同等性を確保し、特定の計量器の適合性評価結果の受入れを可能にするための国際協力を行う。

### 4-(1) 次世代計量標準の開発

[中期目標]

次世代の計量標準を世界に先駆けて開発し、国際計量標準の構築において優位性を確保するとともに、我が国の優れた標準技術を国際標準に反映させ、また、先端技術開発を支援する。

[中期計画]

国際計量標準の構築において我が国の優位性を発揮するため、秒の定義やキログラムの定義等を改定する革新的な計量標準の開発を世界に先駆けて行う。その成果を国際度量衡委員会(CIPM)、同諮問委員会、作業部会等を通して国際計量標準に反映させる。また、環境、医療、ナノテクノロジー、バイオテクノロジー、エネルギー関連等の先端産業技術を支援する戦略的な計量標準に関しては、先進国の計量標準研究所との競争と協調の下に効率的に開発を進める。

### 4-(1)-① 次世代計量標準の開発

[中期計画]

・国際計量標準の構築において我が国の優位性を発揮するため、秒の定義やキログラムの定義等を改定す

革新的な計量標準の開発を世界に先駆けて行う。その成果を国際度量衡委員会(CIPM)、同諮問委員会、作業部会等を通して国際計量標準に反映させる。また、環境、医療、ナノテクノロジー、バイオテクノロジー、エネルギー関連等の先端産業技術を支援する戦略的な計量標準に関しては、先進国の計量標準研究所との競争と協調の下に効率的に開発を進める。

#### [中期実績]

・現在は国際キログラム原器により定義されている「キログラム」を基礎物理定数により再定義するために、シリコン 28 同位体濃縮結晶を用いたアボガドロ定数の高精度測定を実施した。測定は 8 ヶ国の計量標準研究機関との国際共同プロジェクトにおいて実施し、主に球体体積測定用レーザー干渉計の開発を担当した。平成 22 年度にはシリコン 28 同位体濃縮球体の体積を  $3e-8$  で測定し、他のプロジェクト参加研究機関で得られた格子定数、モル質量測定結果と合わせて、アボガドロ定数を  $3e-8$  の精度で決定した。測定値は CODATA による 2010 年の基礎物理定数調整に採用された。平成 26 年度にはシリコン 28 同位体濃縮球体体積を世界最高精度である  $2e-8$  で測定し、アボガドロ定数を  $2e-8$  の精度で決定した。この測定精度は国際キログラム原器の質量の長期安定性を凌ぐものであった。測定結果の詳細を国際度量衡委員会に報告し、2018 年のキログラム再定義実施を確定的なものとすることができた。プロジェクトでは球体表面分析技術および格子定数均一性評価技術の開発も担当しており、再定義後のキログラム実現に必要な測定システムを他国に先駆けて構築することができた。

・1)Yb 光格子時計の周波数の不確かさ評価を完成させ、絶対周波数を  $3.9E-15$  の不確かさで決定し、研究発表を行った。この測定結果を国際度量衡委員会時間周波数諮問委員会へ報告し、Yb 光格子時計の秒の二次表現採択および周波数値決定に寄与・貢献した。2)Yb 及び Sr 光格子時計の周波数の同時測定を行い、両時計の周波数比をマイクロ波周波数標準を用いたときよりも小さな不確かさで測定した。その結果、Yb と Sr の時計遷移周波数比を  $1.4E-15$  の不確かさで決定した。3)Sr 光格子時計の周波数の不確かさ評価を完成させ、絶対周波数を  $3.7E-15$  の不確かさで決定した。Sr 及び Yb 光格子時計の不確かさは、マイクロ波周波数標準の不確かさによって制限されていることを示した。4)光格子時計における時計遷移観測に不可欠な狭線幅レーザー、および周波数計測に不可欠な光周波数コムを開発し進化させた。これらを組み合わせ、産総研独自の堅牢な狭線幅レーザーの線幅転送システムを構築し、時計遷移波長用の光共振器を用いない Yb 及び Sr 時計遷移の観察に初めて成功した。この狭線幅レーザーおよび線幅転送システムの平均時間 1 秒における周波数安定度は光共振器の熱雑音によって制限される  $2E-15$  であった。

### 4-(2) 計量標準におけるグローバルな競争と協調

#### [中期目標]

国際的計量組織の一員として、国家計量標準の同等性に関する国際相互承認体制(MRA)及び計量器の技術基準の同等性に関する国際相互受入れ取決め(MAA)を発展するよう促していく。また、開発途上国が、通商の基盤となる自国の計量標準を確立できるよう支援をしていく。

#### [中期計画]

国家計量標準の同等性に関する国際相互承認体制(MRA)及び計量器の技術基準の同等性に関する国際相互受入れ取決め(MAA)を発展させる活動に率先して取り組む。具体的にはメートル条約に係る国際機関、地域機関において技術委員会の主査を務める等、主導的な活動を行う。また、国際貢献の観点から通商の基盤となる計量標準確立への途上国支援を行う。

#### 4-(2)-① 計量標準におけるグローバルな競争と協調

#### [中期計画]

・国家計量標準の同等性に関する国際相互承認体制(MRA)及び計量器の技術基準の同等性に関する国際相互受入れ取決め(MAA)を発展させる活動に率先して取り組む。具体的にはメートル条約に係る国際機関、地域機関において技術委員会の主査を務める等、主導的な活動を行う。また、国際貢献の観点から通商の基盤となる計量標準確立への途上国支援を行う。

#### [中期実績]

・国際度量衡委員ポストに継続して就任、また国際法定計量委員会第二副委員長ポストに新規に就任するなど、計量関連国際機関での主導的な立場を確保し、MRA や MAA などの国際相互承認の活動に貢献した。

具体的には CCQM WG や OIML TC6(包装商品)などの技術諮問委員会の日本での開催や OIML TC8 (流体量の測定)の事務局を担当した。地域計量組織 APMP の活動では延べ 9 名の技術委員長を輩出するとともに、平成 23 年の神戸総会を成功裏に主催した。平成 25-26 年度に掛けては、東南アジアの計量ネットワーク構築支援プログラムを立ち上げ、延べ 5 件の現地セミナー(10ヶ国以上から延べ 581 名の参加)の開催と研修または研究での研究員受け入れ(5カ国から延べ 35 名)を実施した。平成 22, 26 年度の JICA 研修を通じて合計 20 名の研修生を受け入れるとともに、平成 26 年度には JST のさくらサイエンスプランで 10 名の研修生を受け入れた。

#### 4-(3) 計量標準分野における校正、法定計量分野における適合性評価の国際協力の展開

##### [中期目標]

二国間の MOU (技術協力覚書)の締結、維持により、製品の認証に必要となる計量標準の同等性を確保し、特定の計量器における適合性評価結果の受入れを可能にするための国際協力を行う。

##### [中期計画]

製品の認証に必要となる計量標準の同等性を確保し、特定の計量器における適合性評価結果の受入れを可能にするための調査、技術開発を行う。また、受入れに必要となる二国間 MOU(技術協力覚書)の締結、維持等の国際協力を行う。

#### 4-(3)-① 計量標準分野における校正、法定計量分野における適合性評価の国際協力の展開

##### [中期計画]

・製品の認証に必要となる計量標準の同等性を確保し、特定の計量器における適合性評価結果の受入れを可能にするための調査、技術開発を行う。また、受入れに必要となる二国間 MOU(技術協力覚書)の締結、維持等の国際協力を行う。

##### [中期実績]

・中期計画期間内で、計量標準に関する研究協力 MoU を 7カ国(延べ数)と 1 機関、法定計量に関する技術協力 MoU を 3カ国、多国間 MoU として 2 件、の締結・維持を行い各 MoU 下での国際協力を進めた。

### 5. 計量の教習と人材の育成

##### [中期目標]

法定計量業務に対応できるよう、国内の法定計量技術者の技術力向上を図るとともに、公的機関、産業界及び開発途上諸国の計量技術者を育成する。

##### [中期計画]

法定計量業務に対応できるよう、国内の法定計量技術者の技術力向上を図るための教習を企画、実施する。公的機関、産業界及び開発途上諸国の計量技術者に対し、計量標準技術と品質システムの研修を行い、人材育成を行う。

#### 5-(1) 計量の教習

##### [中期目標]

法定計量の技術を教習して、国内の法定計量技術者の計量技術レベルの向上を図る。

##### [中期計画]

計量法に基づき、計量研修センターと計測標準研究部門を中核として法定計量の教習を企画、実施して、国内の法定計量技術者の技術力向上を図る。

#### 5-(1)-① 計量の教習

##### [中期計画]

・計量法に基づき、計量研修センターと計測標準研究部門を中核として法定計量の教習を企画、実施して、国

内の法定計量技術者の技術力向上を図る。

[中期実績]

・計量法にもとづき、計量行政機関に働く職員の技術向上を目的として、諸計量教習(一般計量(2回)、一般計量特別、環境計量特別、短期計量(2回)、指定製造事業者制度、環境計量証明事業制度、計量行政新人、新任所長、及び幹部職員の各教習)を毎年実施した(ただし、東日本大震災時には一部教習を中止)。その他、基準タンクの検査と非自動はかりの検査に関する技術教習を適宜実施した。一方、計量士の育成を図るため、一般計量教習、一般計量特別教習、環境計量特別教習、環境計量講習(濃度と騒音振動)を実施した。

## 5-(2) 計量の研修と計量技術者の育成

[中期目標]

公的機関、産業界及びアジア諸国の技術者を対象として、人材育成プログラムや資料を作成するとともに、研修を行い、計量技術者を育成する。

[中期計画]

計量にかかわる公的機関、産業界及びアジア諸国の技術者を対象として、啓発、教育、技術トレーニング等の人材育成プログラムの開発を行い、人材育成を行う。また、計量技術者の自発的な成長を促進するため、計量技術に関する情報について体系的に整理を行い、公開する。

### 5-(2)-① 計量の研修と計量技術者の育成

[中期計画]

・計量にかかわる公的機関、産業界及びアジア諸国の技術者を対象として、啓発、教育、技術トレーニング等の人材育成プログラムの開発を行い、人材育成を行う。また、計量技術者の自発的な成長を促進するため、計量技術に関する情報について体系的に整理を行い、公開する。

[中期実績]

・計量法に基づき環境計量士(騒音振動)のスキルアップ研修として自動車騒音と航空機騒音の評価技術コース(ともに2日間)を1回実施した。また、計量トレーサビリティに関する技術研修事業として、計測の不確かさ研修(1週間)を年1回毎年実施した。その他、化学分析技術者研修(1週間)を通算3回、非自動はかりの定期検査研修(1日)を3回実施した。平成22年度にはJICA法定計量技術研修の計測実習を担当し、3ヶ国4名の参加を得た。

・NMIJ ホームページデザインの見直し、検索機能を加えるとともに、計量標準報告を通じて42件の調査資料や技術文書をホームページ上に掲載、シンセシオロジーに投稿された計量標準に関連する論文を一覧できる形で簡単に辿れるようにするなどの改善を行った。また、NMIJ 成果報告会、NMIJ 標準物質セミナー等各種セミナー、NMIJ 分析技能向上支援プログラムなどを継続的に企画し、計量技術者への啓発・育成を行った。

## 別表4 予算

【第3期中期目標期間】

(単位:百万円)

区 別	計画額	決算額	差引増△減額
	(A)	(B)	(B)－(A)
収入			
運営費交付金	303,521	310,776	7,255
施設整備費補助金	61,891	70,971	9,080
受託収入	74,346	73,239	△ 1,107
その他収入	20,632	50,240	29,608
目的積立金取崩額	0	0	0
計	460,389	505,227	44,837
支出			
業務経費	273,530	322,753	49,223
施設整備費	61,891	70,168	8,277
受託経費	64,273	68,299	4,026
間接経費	60,696	40,953	△ 19,743
計	460,389	502,175	41,785

※百万円未満切り捨てのため、合計と一致しないことがある。

(決算額の説明)

### 1. 収入

- ・ 運営費交付金の計画額は、第3期中期目標期間中、間接経費の効率化係数△3%、業務経費の効率化係数△1%を乗じての試算結果であり、決算額は毎年度の査定後予算額の合計である。
- ・ 施設整備費補助金の増額については、補正予算や東日本大震災復興特別会計による改修費等の施設整備の合計額である。
- ・ 受託収入の減額については、国からの受託収入294.73億円の増収と国以外(特殊法人、民間企業等)からの受託収入305.80億円の減収との合計額である。
- ・ その他収入については、共同研究による収入、設備等貸付料収入、知的所有権収入、研究助成金収入等、自己収入の合計額である。

### 2. 支出

- ・ 業務経費の増額については、自己収入の増加と、間接経費の一部を業務経費として支出したことによる。
- ・ 受託経費の支出決算額と受託収入の収入決算額の差額49.40億円は、間接経費の支出決算額に含まれている。

## 別表5 収支計画

【第3期中期目標期間】

(単位:百万円)

区 別	計画額	実績額	差引増△減額
	(A)	(B)	(B)－(A)
<b>費用の部</b>	<b>395,761</b>	<b>433,245</b>	<b>37,484</b>
経常費用	395,761	428,890	33,129
業務経費	257,474	289,620	32,146
受託業務費	47,361	46,945	△ 416
間接経費	56,278	40,254	△ 16,024
減価償却費	34,564	52,035	17,471
退職手当引当金繰入	85	33	△ 52
財務費用	0	0	0
臨時損失	0	4,355	4,355
<b>収益の部</b>	<b>398,285</b>	<b>430,365</b>	<b>32,080</b>
運営費交付金収益	287,991	303,899	15,908
受託収入	74,346	65,810	△ 8,536
その他の収入	20,632	49,794	29,162
寄付金収益	0	238	238
資産見返負債戻入	15,316	7,682	△ 7,634
財務収益	0	0	0
臨時収益	0	2,941	2,941
			0
<b>純利益(純損失)</b>	<b>2,524</b>	<b>-2,879</b>	<b>△ 5,403</b>
前中期目標期間繰越積立金取崩額	0	13,589	13,589
目的積立金取崩額	0	0	0
<b>総利益</b>	<b>2,524</b>	<b>10,710</b>	<b>8,186</b>

※百万円未満切り捨てのため、合計と一致しないことがある。

### (決算額の説明)

#### 1. 費用の部

##### (1) 経常費用

- ・ 減価償却費の増額については、自己収入等の研究業務の増加に伴い、研究用資産の取得が増加したことによる。
- ・ 退職手当引当金繰入の減額については、受託業務に専従し、運営費交付金の算定対象とされていない職員が減少したことによる。

##### (2) 臨時損失

- ・ 臨時損失は、固定資産除却損42.17億円、貸倒引当金繰入等1.37億円の合計額である。

#### 2. 収益の部

- ・ 運営費交付金収益の増額については、中期目標期間の終了に伴い、運営費交付金債務を収益化したことによる。
- ・ 受託収入の減額については、国からの受託収入が減収したことによる。
- ・ 資産見返負債戻入の減額については、自己収入等により取得した固定資産額が、計画に比し少額であったことによる。
- ・ 臨時収益の決算額は、資産見返承継受贈額戻入14.23億円、資産見返運営費交付金戻入等15.17億円の合計額である。



別表6 資金計画  
【第3期中期目標期間】

(単位:百万円)

区 別	計画額	実績額	差引増△減額
	(A)	(B)	(B)－(A)
<b>資金支出</b>	<b>460,389</b>	<b>518,839</b>	<b>58,450</b>
業務活動による支出	361,197	391,391	30,194
投資活動による支出	99,192	126,827	27,635
財務活動による支出	0	621	621
次期中期目標期間繰越金	0	0	0
<b>資金収入</b>	<b>460,390</b>	<b>517,394</b>	<b>57,004</b>
業務活動による収入	398,499	446,614	48,115
運営費交付金による収入	303,521	310,776	7,255
受託収入	74,346	73,275	△ 1,071
その他の収入	20,632	62,243	41,611
寄付金収入	0	320	320
投資活動による収入	61,891	70,779	8,888
財務活動による収入	0	0	0
前年度よりの繰越金	0	0	0

※百万円未満切り捨てのため、合計と一致しないことがある。

(決算額の説明)

1. 「差引増△減額」の資金支出と資金収入の差額に(▲14.4億円)については第2期中期目標期間の期末残高に補助金として計上されていた補助事業費等を第3期中期目標期間に繰越して支出している為である。

2. 資金支出

- ・ 業務活動による支出については、第3期中期目標期間中における業務活動の総支出額である。
- ・ 投資活動による支出については、第3期中期目標期間中における研究施設・設備の整備に要した経費及び補正予算等を財源とした工事経費等の総支出額である。
- ・ 財務活動による支出については、不要財産に係る国庫納付等及びファイナンス・リース債務の返済による支出額である。

3. 資金収入

- ・ 業務活動による収入の寄附金収入については、研究業務活動のために計画的に用途を特定した寄附金である。
- ・ 投資活動による収入については、施設整備費による収入額703.1億円、及び有形固定資産の売却による収入額等である。



## 産業技術総合研究所 第3期中期目標期間 事業報告書

---

発行日：平成27年6月22日

編集・発行：国立研究開発法人 産業技術総合研究所  
企画本部

〒100-8921 東京都千代田区霞が関1-3-1

経済産業省別館10階

TEL:03-5501-0830 / FAX:03-5501-0855

[http://www.aist.go.jp/aist\\_j/information/outline/index.html](http://www.aist.go.jp/aist_j/information/outline/index.html)

---